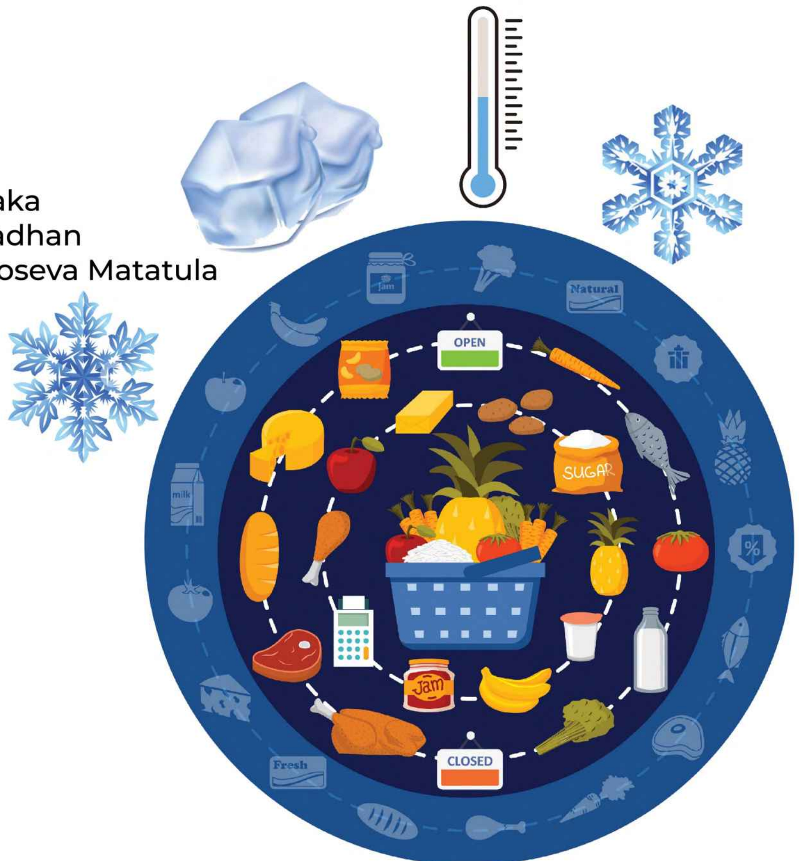
Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah

Nurul Asiah
Laras Cempaka
Kurnia Ramadhan
Stephanie Hoseva Matatula



Sanksi Pelanggaran Hak Cipta

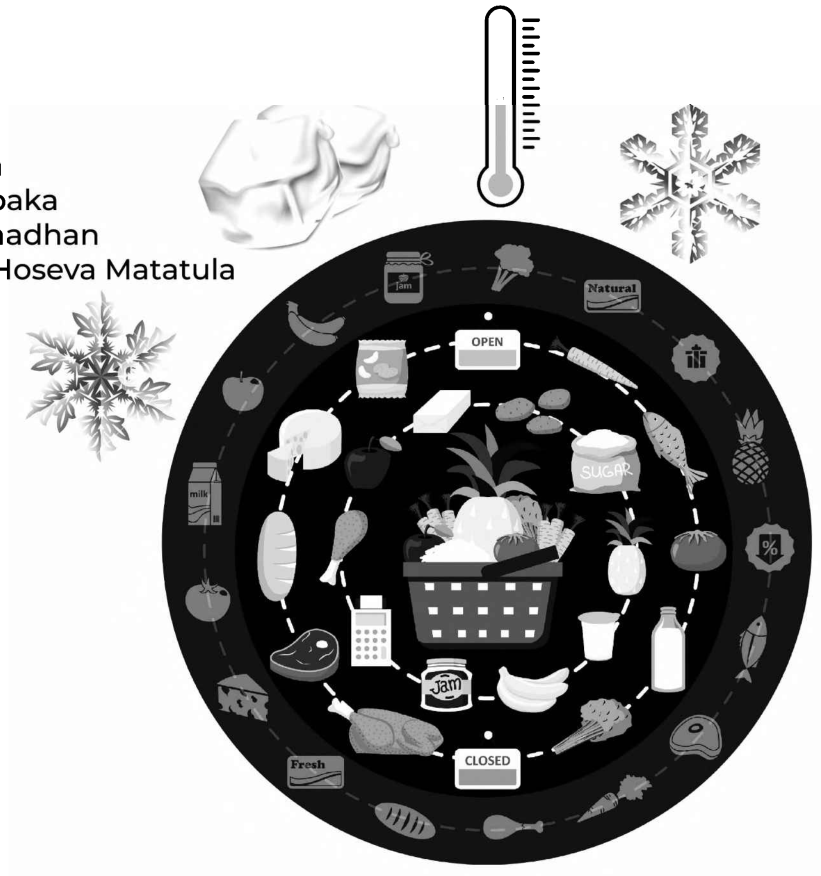
UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA

Ketentuan Pidana
Pasal 113

1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hamk Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah

Nurul Asiah
Laras Cempaka
Kurnia Ramadhan
Stephanie Hoseva Matatula



Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah

Nurul Asiah
Laras Cempaka
Kurnia Ramadhan
Stephanie Hoseva Matatula
- Makassar : © 2020

Layout : **Rizaldi Salam**
Design Cover : **Muhammad Alim**

Cetakan Pertama, Desember 2020
viii + 100 hlm; 15.5 x 23 cm
ISBN 978-623-6941-32-4 (PDF)
Diterbitkan oleh Penerbit Nas Media Pustaka
CV. Nas Media Pustaka
Anggota IKAPI
No. 018/SSL/2018
Jl. Batua Raya No. 550 Makassar 90233
Telp. 0812-1313-3800
redaksi@nasmediapustaka.id
www.nasmediapustaka.co.id
nasmedia.id
Instagram : @nasmedia.id
Fanspage : Penerbit Nas Media Pustaka

Dicetak oleh Percetakan CV. Nas Media Pustaka, Makassar
Isi di luar tanggung jawab percetakan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur senantiasa tertuju kepada Allah SWT. Berkat rahmat dan petunjuk-Nya kami telah menyelesaikan buku "Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah". Buku ini berisi teori - teori dasar bagaimana melakukan penyimpanan pangan segar maupun pangan olahan pada suhu rendah. Beberapa prinsip dasar yang akan dibahas meliputi: mekanisme dan teknik penyimpanan suhu rendah, ketahanan mikroorganisme pada suhu rendah, petunjuk umum penyimpanan suhu rendah, penanganan sebelum dan setelah penyimpanan suhu rendah, dan perubahan pangan selama penyimpanan suhu rendah.

Saat ini kebutuhan penggunaan peralatan pendingin untuk penyimpanan pangan tidak dapat dilepaskan dalam kehidupan masyarakat. Namun demikian, tidak semua pengguna peralatan tersebut memahami prinsip - prinsip dasar dalam penggunaannya. Tanpa pemahaman yang baik, peralatan penyimpanan suhu rendah akan beresiko mempercepat kerusakan pangan. Buku ini diharapkan dapat membantu produsen, distributor, retailer hingga konsumen untuk bisa menggunakan peralatan penyimpanan suhu rendah dengan tepat dan mampu memaksimalkan fungsinya.

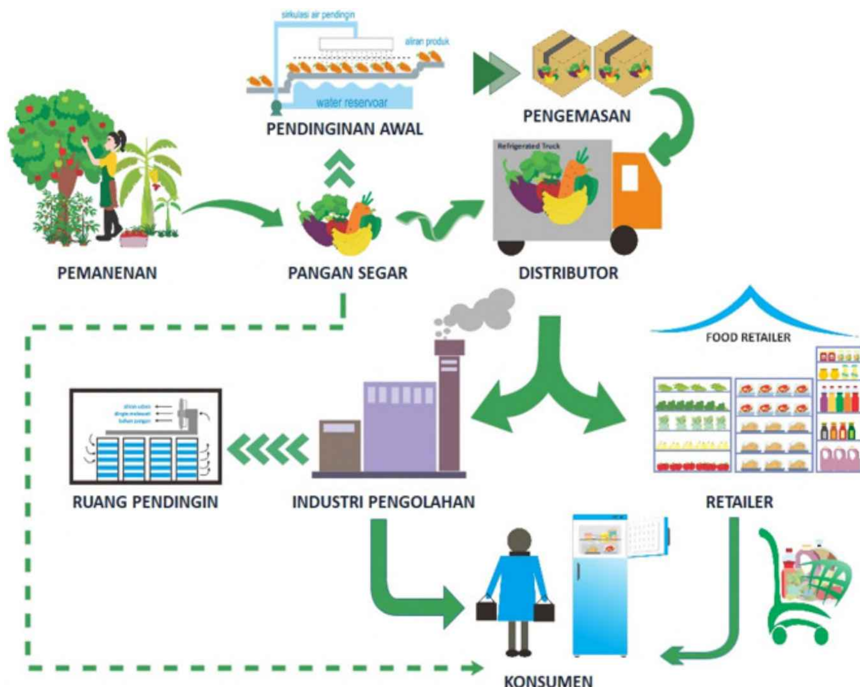
Untuk memudahkan pemahaman pembaca, buku ini dilengkapi beberapa ilustrasi. Gambar - gambar yang ditampilkan pada buku ini merupakan hasil karya penulis yang sebagian merupakan hasil gambar ulang maupun modifikasi dari berbagai referensi yang tertera pada Daftar Pustaka. Adapun gambar yang terdapat dalam buku dibuat menggunakan *software* CorelDraw dan EdrawMax. Kami menyadari masih terdapat kekurangan pada buku ini. Saran dan masukan dari pembaca diharapkan mampu menjadi bahan evaluasi bagi penulis.

Jakarta, November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

MEKANISME DAN TEKNIK PENYIMPANAN SUHU RENDAH



Pendinginan dan pembekuan pada pangan segar maupun pangan olahan memberikan pengaruh besar terhadap keamanan dan mutu pangan. Proses pendinginan dan pembekuan yang tepat terbukti dapat mempertahankan mutu pangan dengan mengurangi atau menonaktifkan aktivitas enzim dan mikroorganisme pada pangan. Seiring dengan kenaikan

jumlah penduduk dan semakin meningkatnya kebutuhan pangan, kebutuhan peralatan penyimpan suhu rendah pun terus bertambah. Pangan harus dijaga mutu dan keamanannya dari produsen hingga konsumen. Oleh karena itu, penggunaan peralatan penyimpanan suhu rendah banyak digunakan pada penanganan pascapanen pangan segar, pada saat pendistribusian pangan, pada industri pengolahan, retailer hingga konsumen dalam skala rumah tangga.

Bagaimana Perkembangan Penyimpanan Suhu Rendah?

Kebutuhan pangan segar maupun olahan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dunia. Bahan pangan segar umumnya memiliki sifat mudah rusak, sedangkan pangan olahan memiliki umur simpan yang lebih lama, namun tetap akan mengalami penurunan mutu selama waktu penyimpanan. Mengetahui bagaimana prinsip - prinsip penyimpanan bahan pangan segar maupun olahan adalah kebutuhan baik bagi produsen maupun konsumen.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 Tentang Pangan, **pangan segar** adalah pangan yang belum mengalami pengolahan yang dapat dikonsumsi langsung dan/ atau yang dapat menjadi bahan baku pengolahan pangan. Saat musim panen, ketersediaan pangan segar sangat melimpah. Disisi lain, pangan segar merupakan bahan yang mudah rusak dan dapat mengalami penurunan mutu dengan cepat. Selain itu, produksi bahan pangan juga relatif tidak stabil yang dipengaruhi oleh kondisi alam. Pada musim tertentu, pangan segar bisa menjadi sangat langka dan terbatas. Khususnya untuk negara-negara dengan perubahan iklim yang drastis. Dengan demikian, manajemen penyimpanan pangan segar menjadi sangat penting. Ketidakmampuan menyimpan bahan pangan dengan tepat akan berakibat pada peningkatan *food waste.* Salah satu metode penyimpanan bahan pangan segar yang telah lama diterapkan adalah penyimpanan pada suhu rendah.

Zaman dahulu, orang telah memanfaatkan es alami, salju, gua dan puncak gunung yang dingin untuk menyimpan bahan pangan mereka agar tetap segar. Hal ini bisa kita lihat dari adanya rumah es pertama yang tercatat, dibangun di Suriah atas perintah Raja Zimri-Lim, dibuat pada tahun 1700 SM. Sejak dulu orang Cina Kuno, Suriah, dan Persia telah melakukan praktik penyimpanan suhu rendah. Mereka memanen es, yang kemudian akan disimpan di ruang bawah tanah atau rumah es yang terisolasi dan digunakan untuk mengawetkan makanan dan minuman. Orang Yunani dan Romawi kuno menggunakan es yang disimpan dari gudang es bukan untuk mengawetkan makanan, tetapi sebagai cara untuk mendinginkan minuman saat musim panas tiba.

Pada awal tahun 1800-an, seorang pengusaha Amerika menyadari nilai es yang dipanen bagi orang Amerika. Selanjutnya, secara komersial orang tersebut memotong dan mengangkut es dari New England untuk dijual ke Karibia dan Amerika Serikat bagian Selatan. Sejak saat itu banyak dibangun *cold storage* pada setiap rumah. Hingga pada tahun 1830, konsumsi es untuk penyimpanan berada pada titik tertinggi sepanjang masa, dan masyarakat sangat terbiasa untuk dapat menyimpan bahan pangan di rumah mereka sendiri.

Penyimpanan bahan pangan pada suhu rendah terus berkembang. Pada tahun 1755, percobaan pertama untuk menurunkan suhu benda secara artifisial dilakukan oleh Profesor William Cullen, yang berhasil membuat sejumlah kecil es secara artifisial menggunakan dietil eter sebagai zat pendingin. Pada tahun 1805, O. Evans membuat sistem kompresi uap pertama. Berikutnya pada tahun 1834, J. Perkins membuat mesin kompresi uap yang ditingkatkan. Selanjutnya pada tahun 1850 mesin pendingin mulai menggunakan kompresor dengan bahan pendingin udara, ammonia dan Freon. Pada tahun 1856, A. Twinning mulai membuat aplikasi pendinginan komersial pertama. Kemudian pada tahun 1918 mulai diproduksi lemari es rumah tangga pertama. Dahulu lemari es dianggap sebagai barang mewah, karena harganya yang mahal dan pemakaian listriknya yang besar. Namun seiring perkembangan teknologi, saat ini telah banyak dihasilkan teknologi penyimpanan suhu rendah yang lebih ramah lingkungan, hemat, efisien dan dengan harga yang terjangkau.

Perkembangan teknologi pendinginan dan pembekuan memungkinkan terjadinya pengiriman bahan pangan segar melintasi jarak yang sangat jauh dan menyimpan dalam jumlah besar untuk jangka waktu yang lama di ruang freezer industri atau ruang dingin yang lebih kecil. Hal ini menyebabkan ledakan pertanian di daerah yang sebelumnya terlalu sulit untuk mengirimkan bahan pangan, membantu menstabilkan harga daging, produk susu, buah dan sayuran segar di pasar. Selain itu, akses pangan menjadi mudah didapat lintas daerah dan lintas musim.

Selain pangan segar, teknologi penyimpanan suhu rendah juga mendorong perkembangan pangan olahan. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 Tentang Pangan, **pangan olahan** adalah makanan atau minuman hasil proses dengan cara atau metode tertentu dengan atau tanpa bahan tambahan. Salah satu pangan olahan yang banyak berkembang sebagai akibat perkembangan penyimpanan suhu rendah adalah *frozen food.* Pangan olahan beku atau dikenal dengan *frozen food* didefinisikan sebagai pangan olahan yang dihasilkan dari proses pembekuan dan suhu produk dipertahankan tidak lebih dari -18°C pada setiap bagiannya. Perubahan gaya hidup yang serba cepat juga mendorong berkembangnya produk tersebut. Produk *frozen food* telah banyak membantu dalam penyiapan makanan menjadi lebih cepat dan mudah.

Hingga saat ini variasi produk *frozen food* yang beredar di pasaran sangatlah banyak. Mulai dari olahan buah dan sayur (seperti: kentang goreng (*french fries*) dan *mix frozen vegetable*), olahan serealia (seperti mie, kulit pangsit atau kebab, dan *macaroni schotel*), olahan daging (seperti: nuget, bakso, ungkep dll) hingga berbagai olahan ikan dan *seafood* (seperti: udang lapis tepung, udang kupas masak, surimi, bakso ikan, tekwan, pempek, dim sum, siomay, fish katsu, bandeng presto, naget ikan dll). Namun demikian *frozen food* merupakan salah satu pangan olahan yang memiliki resiko tinggi. Jika tidak disimpan dan ditangani dengan tepat akan berpotensi tidak aman untuk dikonsumsi. Hal ini menuntut lebih banyak penyediaan sistem pendingin dan pengawasan yang lebih ketat dalam proses pengolahan bahan dan penanganan selama penyimpanannya.

Menyimpan Dengan Benar Sama Dengan Memperpanjang Umur Simpan

Manusia telah menggunakan berbagai metode untuk mengawetkan makanan selama berabad - abad, mulai dari penggaraman, fermentasi, pengalengan, dan pasteurisasi. Umur simpan atau *shelf life* suatu produk dipahami sebagai rentang waktu yang dimiliki suatu produk mulai dari produksi hingga konsumsi sebelum produk mengalami penurunan mutu

atau mengalami kerusakan dan tidak layak untuk dikonsumsi. Sedangkan kondisi dimana produk sudah tidak aman untuk dikonsumsi ditunjukkan dengan tanggal kadaluarsa (*expiration date*). Selama rentang waktu umur simpan, produk memiliki kandungan gizi sesuai dengan yang tertera pada kemasan, tetap terjaga atribut sensorinya, fungsinya, dan produk harus aman dikonsumsi.

Nilai umur simpan terhitung sejak produk diproduksi/ dikemas dan sangat dipengaruhi oleh kondisi penyimpanannya. Selain itu, umur simpan bahan pangan dipengaruhi oleh karakteristik bahan pangan tersebut, pengemasan, suhu dan humiditas ruang penyimpanan. Penyimpanan yang salah sama dengan mempercepat kerusakan bahan pangan. Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk mempertahankan mutu pangan segar pasca pemanenan yaitu dengan mengatur suhu bahan maupun kondisi ruang penyimpanannya. Pada suhu tertentu, aktivitas enzimatik dan pertumbuhan mikroorganisme penyebab terjadinya penurunan mutu pada pangan bisa dikurangi sehingga bahan tetap dalam keadaan segar.

Pangan segar baik bersumber dari nabati maupun hewani masih akan mengalami respirasi setelah proses pemanenan maupun pemotongan. Untuk berlangsungnya respirasi tersebut, diperlukan suhu optimum, yaitu suhu dimana proses metabolisme (termasuk respirasi) dapat berlangsung secara sempurna. Pada suhu penyimpanan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari suhu optimum, metabolisme akan berjalan kurang sempurna bahkan berhenti sama sekali. Penyimpanan suhu rendah dapat menurunkan aktivitas respirasi dan menghambat aktivitas mikroorganisme. Penyimpanan suhu rendah tidak membunuh mikroba, namun hanya menghambat aktivitasnya. Untuk mendapatkan umur simpan yang lebih panjang, teknik penyimpanan pada suhu rendah perlu dikombinasikan dengan teknik pengawetan yang lainya.

Aktivitas menyimpan pangan terjadi disepanjang rantai produksi, mulai dari pangan segar oleh produsen, bahan baku maupun pangan olahan oleh industri pengolahan, unit distribusi, *retail,* sampai ditangan konsumen. Saat penyimpanan, potensi terjadinya kerusakan pangan bisa terjadi oleh keberadaan organisme hidup yang dapat mengkontaminasi

seperti cacing, serangga, fungi ataupun mikroorganisme lain yang bisa mengkontaminasi pangan. Selain itu, selama penyimpanan aktivitas biokimia yang mengakibatkan berkurangnya mutu akan terus terjadi. Pangan segar merupakan jaringan hidup hingga bahan pangan tersebut di konsumsi atau diproses lebih lanjut. Dengan demikian, fokus utama dalam penyimpanan adalah mengurangi laju respirasi tanpa merusak jaringan. Sedangkan untuk pangan olahan, umumnya akan mengalami laju penurunan mutu sebagai fungsi waktu dan suhu penyimpanan.



Menyimpan bahan pangan dengan baik berarti mengatur dan mengendalikan kondisi ruang penyimpanan dengan memahami potensi kerusakan pada bahan pangan

(Sumber: Asiah dkk, 2020)

Setidaknya terdapat lima parameter yang harus diperhatikan dalam penyimpanan pangan segar maupun olahan. Parameter pertama adalah suhu ruang penyimpanan. Seperti yang kita ketahui bahwa, laju reaksi biokimia pada bahan pangan dipengaruhi oleh suhu. Suhu rendah akan mampu menurunkan kerusakan pada bahan pangan dan menghambat pertumbuhan bakteri maupun jamur. Penyimpanan suhu rendah dibatasi oleh beberapa hal, diantaranya: karakteristik pangan dan biaya penyimpanan. Sehingga perlu adanya keseimbangan antara biaya, *shelf life,* dan resiko *chilling injury* maupun *freezing injury.*

Parameter kedua adalah kelembapan ruang penyimpanan. Jika kelembapan ruang penyimpanan melebihi kesetimbangan relatif bahan, maka bahan akan menyerap kelembapan yang berlebih selama penyimpanan. Peningkatan kadar air dalam pangan selama penyimpanan akan meningkatkan kerentanan terhadap pertumbuhan mikroorganisme. Sementara, jika kelembapan ruang penyimpanan lebih rendah dari kadar air pangan maka pangan akan mengalami rehidrasi. Kehilangan kadar air dalam pangan akan menurunkan mutu dan menyebabkan susut masa yang berakibat pada turunnya harga jual. Kondisi yang ideal adalah jika kelembapan lingkungan sama dengan bahan, sehingga tidak akan terjadi perpindahan massa air dari lingkungan ke bahan atau sebaliknya.

Parameter ketiga adalah komposisi udara ruang penyimpanan. Pengendalian komposisi udara pada ruang penyimpanan bahan pangan mentah memiliki banyak manfaat. Pada sebagian bahan yang berpotensi mengalami reaksi oksidasi, ruangan didesain agar bebas oksigen. Pada kondisi lain, ventilasi yang memadai diperlukan untuk mencegah fermentasi anaerobik yang akan menyebabkan *off-flavors.* Pengendalian komposisi udara dengan meningkatkan N_2 dan mengurangi O_2 pada ruang penyimpanan juga akan membuat proses metabolisme melambat, menghambat respirasi, pematangan dan penuaan pangan segar.

Parameter keempat adalah cahaya ruang penyimpanan. Keberadaan cahaya dapat memicu berbagai macam reaksi dalam bahan pangan. Senyawa pada bahan pangan yang sensitif terhadap cahaya disebut *fotosensitizer* dan sering mengacu pada pigmen seperti klorofil, riboflavin, karotenoid, antosianin, dan flavonoid. Molekul *fotosensitizer* umumnya memiliki struktur kromofor yang mampu menyerap foton energi dari cahaya dan menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS). Sebagai contoh, bahan pangan yang kaya protein dan lemak akan lebih rentan mengalami kerusakan akibat cahaya akibat *fotosensitizer* yang diinduksi oleh photo-oxidation.

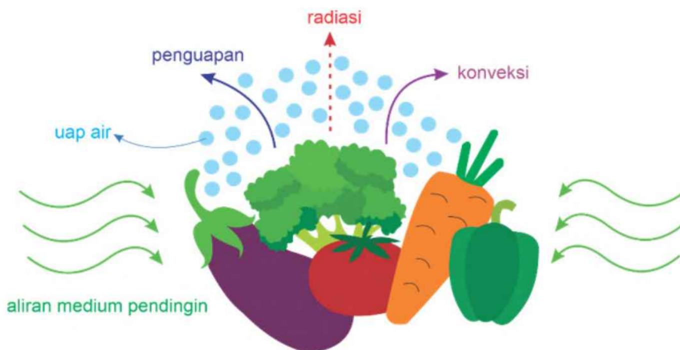
Parameter kelima adalah keberadaan organisme dalam ruang penyimpanan. Dalam ruang penyimpanan sangat mungkin terdapat berbagai organisme yang bisa merusak atau menurunkan mutu bahan

pangan, seperti serangga dan hewan pengerat. Upaya pengendalian dapat dilakukan dengan penyemprotan fungisida dengan dosis yang diizinkan dan tidak berbahaya bagi bahan pangan.

Mekanisme Penyimpanan Suhu Rendah

Pendinginan

Pendinginan terjadi akibat lepasnya panas pada bahan ke lingkungan ruang pendingin dan lepasnya panas dari lingkungan ruang pendingin ke luar sistem pendingin hingga mencapai suhu tertentu yang diinginkan. Selanjutnya suhu tersebut akan dipertahankan agar tetap stabil. Dalam proses pendinginan, terjadi tiga mekanisme perpindahan panas secara simultan, yaitu: konveksi, radiasi dan penguapan. Selama proses pendinginan, media pendingin harus mampu menyerap panas dari dalam bahan yang akan didinginkan, panas konduksi di luar dinding ruang pengemas/penyimpan dan panas infiltrasi dari ruangan yang terbuka.



Mekanisme perpindahan panas selama proses pendinginan

(Sumber: ilustrasi oleh penulis)

Terdapat tiga faktor yang sangat mempengaruhi laju pendinginan. Faktor pertama adalah perbedaan suhu antara bahan yang didinginkan dengan suhu media pendingin. Media pendingin yang digunakan bisa berupa udara dingin, air suhu rendah maupun es. Pada tahap awal proses pendinginan, laju penurunan suhu akan berlangsung lebih cepat dan berangsur melambat. Hal ini terjadi karena seiring lamanya waktu

pendinginan selisih suhu yang ingin dicapai sudah mulai berkurang. Pada proses pendinginan hanya terjadi perubahan panas *sensible* (panas untuk merubah suhu tanpa merubah fase), sehingga suhu ruang pendingin berkisar 20 ^{O}C hingga 0 ^{O}C. Penentuan suhu penyimpanan dingin disesuaikan dengan suhu optimum penyimpanan tiap bahan pangan. Faktor kedua adalah besarnya luas kontak antara permukaan bahan yang akan didinginkan dengan media pendingin. Semakin besar luas kontak antar bahan dengan media pendingin maka laju proses pendinginan akan lebih cepat terjadi. Dalam hal ini laju kontak media pendingin juga bisa meningkat ketika terjadi peningkatan laju udara pendingin Faktor ketiga adalah nilai konduktivitas termal produk pangan dan bahan pengemasnya. Pendinginan akan cepat terjadi apabila bahan dan kemasan memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi.

Pembekuan

Penyimpanan pada suhu beku memiliki berbagai keuntungan karena mampu mempertahankan kandungan zat gizi, rasa, warna dan aroma. Selain itu penyimpanan pada suhu beku juga bisa menghemat waktu, kerja, dan uang. Metode ini juga mudah untuk diterapkan dalam mengawetkan bahan pangan. Dengan peyimpanan beku memungkinkan untuk memasak bahan pangan lebih cepat, ketersediaan bahan pangan akan ada sepanjang tahun dan bisa mengurangi frekuensi kegiatan belanja.

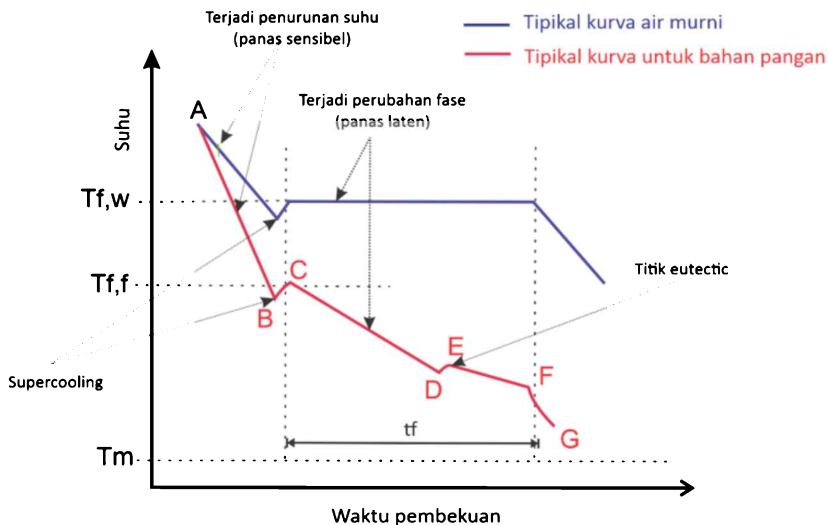
Pembekuan merupakan salah satu metode pengawetan pangan, dimana produk pangan diturunkan suhunya hingga bahan berada di bawah suhu bekunya. Selama proses pembekuan terjadi perpindahan panas sensibel (panas untuk mengubah suhu) dan perpindahan panas laten (panas untuk mengubah wujud zat). Suhu pembekuan bahan pangan umumnya terjadi dibawah -2°C (28°F). Selama pembekuan, sebagian dari air berubah wujud dari fase cair ke fase padat dan membentuk kristal es. Kristalisasi ini menyebabkan mobilitas air terbatas sehingga aktivitas air pun menurun. Kondisi tersebut akan menyebabkan penghambatan pertumbuhan mikroba, serta reaksi-reaksi kimia dan biokimia yang mempengaruhi mutu dan keawetan produk pangan. Dengan demikian produk beku dapat memiliki umur simpan yang lebih lama.

Selama proses pembekuan, suhu bahan pangan diturunkan menjadi lebih rendah dari suhu titik bekunya sehingga terjadi perubahan wujud air dari cair menjadi padat pada titik bekunya dan lewat beku (berada di bawah titik bekunya). Proses perubahan wujud dari cair ke lewat beku pada sistem pangan akan berbeda dengan perubahan wujud air murni. Dalam proses pembekuan, baik pada air murni, larutan maupun sistem pangan, terjadi fenomena *supercooling. Supercooling* adalah kondisi dimana suhu air menurun di bawah suhu bekunya, namun kemudian meningkat lagi ke suhu titik bekunya. Suhu *supercooling* dapat mencapai 10°C di bawah titik beku bahan.

Sesuai dengan sifat koligatif larutan, suhu pembekuan air menjadi lebih rendah dengan adanya komponen lain yang membersamainya. Jika pada air murni proses pembekuan terjadi pada suhu konstan, maka didalam sistem larutan atau campuran proses pembekuan terjadi pada suhu yang tidak sama (titik beku semakin menurun). Hal ini terjadi karena pada proses pembekuan air, sebagian air yang menjadi pelarut akan membeku yang menyebabkan konsentrasi larutan akan semakin tinggi. Sebagai akibatnya, titik beku larutan atau sistem pangan akan mengalami penurunan.

Tipikal kurva pembekuan air murni dan kurva pembekuan bahan pangan dapat dilihat pada gambar. Dimana t_f adalah waktu pembekuan, $T_{f',w}$ adalah titik beku air murni, $T_{f,f}$ adalah titik beku bahan pangan, T_m adalah suhu media pendinginan. Pada titik A hingga B air mengalami perubahan suhu hingga dibawah 0 °C. Pada titik B air akan tetap berada pada fase cair meskipun suhunya 0 °C. Kondisi tersebut disebut dengan *supercooling.* Pada titik B hingga C suhu naik dengan cepat pada suhu pembekuannya akibat lepasnya panas laten (panas untuk mengubah fase) dan pada titik ini kristal es akan terbentuk pada titik beku bahan pangan ($T_{f,f}$). Pada titik C hingga D terus terjadi penurunan suhu pembekuan akibat peningkatan konsentrasi padatan pada fraksi produk yang belum membeku. Penurunan suhu akan terus terjadi hingga sebagian besar produk pangan telah berubah fase menjadi es dan akan berhenti ketika padatan pada sistem pangan menjadi super jenuh dan mulai mengkristal. Selanjutnya pada titik D panas laten kristalisasi akan kembali dilepas dan

suhu akan naik pada titik *eutectic* yaitu titik E. Pada titik suhu *eutectic* sebagian air sudah membeku yang mengakibatkan zat terlarut mengalami kondisi lewat jenuh dan mulai membentuk kristal. Saat terjadi kristalisasi zat terlarut, terjadi pelepasan panas laten (perubahan wujud yang berlangsung pada suhu konstan). Proses kristalisasi akan terus berlanjut seiring penurunan suhu hingga titik F yaitu suhu media pendinginan T_m. Total waktu yang diperlukan dari titik C hingga titik F disebut sebagai waktu pembekuan (T_m).



Perbandingan kurva pembekuan air murni dan kurva pembekuan bahan pangan

(Sumber: gambar ulang dari Hariyadi, 2007)

Perkiraan laju pembekuan dan pada lama waktu pembekuan merupakan faktor paling penting dalam pemilihan maupun desain proses pembekuan. Lama waktu pembekuan sangat tergantung pada berbagai faktor, antara lain: ukuran dan bentuk produk yang dibekukan, nilai konduktivitas panas bahan yang dibekukan, luas area (permukaan) bahan yang dibekukan dengan media pembeku, nilai koefisien pindah panas di permukaan bahan yang dibekukan dan media pembeku, perbedaan suhu antara bahan yang dibekukan dan media pembeku dan jenis pengemas

yang digunakan untuk mengemas bahan yang dibekukan (hanya berlaku untuk bahan yang dibekukan dalam keadaan terkemas).

Peralatan Penyimpanan Suhu Rendah

Pendinginan dan pembekuan bahan pangan yang mudah rusak (*perishable food*) merupakan proses yang penting untuk dapat menjaga kualitas bahan pangan tersebut. Proses pendinginan dan pembekuan diperlukan untuk menghambat proses kimiawi dan biologis dalam bahan pangan yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan mutu bahan pangan. Dengan proses pendinginan dan pembekuan diharapkan dapat memperpanjang *shelf life* dari bahan pangan yang memiliki sifat *perishable* seperti daging, ikan, sayuran, dan buah–buahan. Untuk itu diperlukan peralatan pendinginan dan pembekuan agar proses penyimpanan berjalan dengan baik. Dalam merancang peralatan yang akan digunakan maka diperlukan beberapa pertimbangan seperti jenis bahan pangan, kisaran suhu, laju pendinginan, dan beberapa pertimbangan lain. Peralatan pendinginan atau pembekuan juga berperan dalam transportasi dan distribusi bahan pangan karena sebagian besar bahan pangan menghabiskan waktunya dalam perjalanan. Jadi, mengetahui peralatan untuk proses transportasi dan distribusi menjadi hal yang penting.

Berikut beberapa peralatan yang biasanya digunakan dalam proses pendinginan dan pembekuan :

Cool box

Cool box merupakan wadah berpendingin yang biasanya digunakan untuk menyimpan bahan – bahan yang sensitif terhadap suhu. *Cool box* terbuat dari bahan isolasi dengan konduktivitas termal rendah dan akumulator dingin ditempatkan di dalam untuk menjaga suhu di dalam kotak sehingga transportasi rantai dingin pangan dapat diselesaikan dengan mudah. Biasanya *cool box* dilengkapi dengan media pendingin seperti es batu atau *ice gel* untuk menjaga suhu tetap dingin. Peletakan dari media pendingin ini juga berpengaruh terhadap kinerja *cool box* terkait masalah pendistribusian suhu. *Cool box* yang umumnya digunakan terbuat dari *styrofoam* dan plastik HDPE (*High Density Poly*

Ethylene), khusus bahan HDPE dilengkapi lagi dengan bahan insulasi yang terbuat dari *polyurethane*.

Penggunaan *cool box* ini sangat cocok untuk kebutuhan transportasi multi frekuensi dan volume yang kecil. Kinerja *cool box* dapat dievaluasi dari masa penggunaan dan kemampuan untuk mendistribusikan panas serta mempertahankan suhu. *Cool box* cukup sering digunakan sebagai peralatan penyimpanan suhu rendah karena memiliki beberapa kelebihan seperti kontrol suhu yang lebih mudah, fleksibel, biaya yang rendah, pengoperasiannya mudah, mudah dibawa karena ukurannya yang cukup kecil, dan dapat dioperasikan baik di dalam maupun di luar ruangan. Namun *cool box* juga memiliki kekurangan yaitu waktu penyimpanan yang cukup singkat, bergantung pada media pendingin yang digunakan dan desain dari *cool box*, suhu di dalam kabinet sangat dipengaruhi oleh lingkungan luar, dan ada batasan waktu untuk menjaga suhu didalam kotak.

Refrigerator

Refrigerator merupakan suatu alat yang terdiri dari rangkaian mesin yang bekerja untuk menghasilkan suhu yang dingin dengan bantuan refrigeran. Refrigeran memiliki fungsi sebagai zat pendingin yang dialirkan oleh kompresor selama refrigerator bekerja. Pada awalnya refrigeran berbentuk liquid dan akan berubah menjadi gas kemudian berubah menjadi cair lagi selama siklus pendinginan dalam refrigerator. Beberapa jenis *refrigeran* yang bisa digunakan adalah chlorofluorocarbons (CFCs), amonia, hidrokarbon (*propane*, *ethane*, *ethylene*), karbodioksida, udara dan bahkan air (pada aplikasi diatas titik beku). Pemilihan refrigeran yang baik hendaknya berdasarkan kondisinya, misalnya R-11, R-12, R-22, R-134a dan R502 yang dijual banyak di pasaran. Secara umum, mesin refrigerasi mekanik terdiri evaporasi, kompresi, kondensasi dan ekspansi.

Proses kerja mesin pendingin secara umum adalah sebagai berikut:

1. Evaporator, berfungsi untuk mengambil panas yang terdapat pada ruangan yang akan didinginkan. Didalam evaporator terjadi perubahan wujud refrigeran dari air menjadi uap. Perubahan wujud

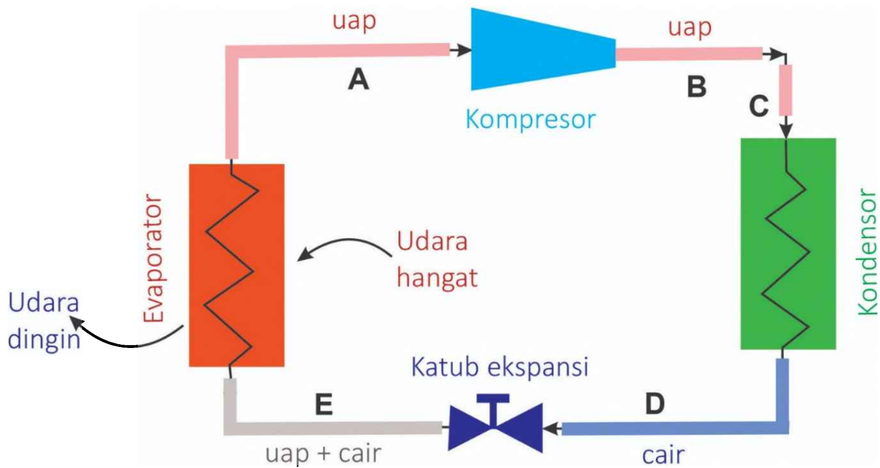
ini memerlukan energi (yang diambil dari lingkungan dan bahan yang disimpan dalam ruang tersebut).

2. Kompressor: bekerja meningkatkan suhu dan tekanan refrigeran setelah keluar dari evaporator dalam fasa uap/ gas pada tekanan tinggi. Melalui proses kompresi suhu refrigeran dapat ditingkatkan sehingga melebihi suhu disekelilingnya. Kemudian *Refrigeran* ini akan mengalir ke kondensor.

3. Kondensor bekerja untuk mengembunkan uap refrigeran bertekanan dan bersuhu tinggi. Panas dilepas ke lingkungan, dan terjadi perubahan fase refrigeran dari uap ke >> cair.

4. Katub Ekspansi digunakan untuk mengendalikan laju refrigeran sehingga *supply* refrigeran konstan. Katub ekspansi ini akan memisahkan saluran bertekanan tinggi (saluran antara kompresor dan katub ekspansi yang melalui kondensor) dan saluran bertekanan rendah (saluran antara kompresor dan katub ekspansi yang melalui evaporator). Perbedaan tekanan tersebut akan menyebabkan refrigeran berbentuk cair pada tekanan tinggi dan akan sangat mudah menguap pada ruang evaporator. Keadaan mudah menguap tersebut bisa dimanfaatkan untuk mengambil panas dari lingkungan di dalam evaporator.

Mekanisme sistem refrigerasi dapat dilihat pada gambar, dimana A: refrigeran berada pada fase uap jenuh, B: refrigeran akan mengalami *superheated vapor* (Suhu tinggi dengan bertekanan tinggi), C: refrigeran akan mengalami *saturated vapor*, D: refrigeran akan mengalami *saturated liquid* dan E: refrigeran akan mengalami ekspansi dan berubah menjadi fase gas/ vapor



Mekanisme Sistem Refrigerasi

(Sumber: ilustrasi oleh penulis)

Refrigerator merupakan salah satu alat elektronik yang mengkonsumsi daya listrik cukup besar. Hal ini dapat terjadi karena suhu rendah didalam refrigerator harus tetap dipertahankan sedangkan ketika pintu refrigerator dibuka dan ditutup memungkinkan adanya panas yang masuk dari lingkungan ke dalam refrigerator. Untuk mengembalikan suhu refrigerator sesuai suhu yang telah di*setting* membutuhkan daya listrik yang cukup besar. Terdapat tujuh cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi konsumsi listrik dari penggunaan refrigerator. Pertama menempatkan refrigerator pada tempat yang sejuk. Kedua minimalkan kegiatan membuka dan menutup pintu refrigerator, hal ini penting dilakukan karena untuk mengembalikan suhu sesuai dengan yang telah di*setting* membutuhkan waktu yang cukup lama dan akan berpengaruh terhadap penggunaan listrik. Ketiga, usahakan untuk mengatur suhu refrigerator tidak terlalu rendah, refrigerator biasanya menggunakan suhu 2 – 4 °C untuk ruang pendingin dan -15°C untuk ruang *freezer*. Keempat, hindari memasukan makanan dan/atau minuman yang bersuhu tinggi. Hal ini menjadi penting dikarenakan makanan atau minuman yang bersuhu tinggi menyebabkan kenaikan suhu dalam refrigerator, sebagai akibatnya

untuk mengembalikan ke suhu yang telah di*setting* membutuhkan daya listrik yang besar. Kelima, isi refrigerator sesuai dengan kapasitas yang tersedia. Jika refrigerator terisi melebihi kapasitas maka sirkulasi udara dalam refrigerator akan terganggu dan akan memperberat kinerja refrigerator yang berpengaruh kepada meningkatnya konsumsi listrik. Keenam, rawat refrigerator dengan benar serta pastikan komponen berjalan dengan baik. Ketujuh, jangan dibiarkan refrigerator kosong.

Cold Room

Cold room merupakan sebuah ruangan yang didesain khusus dengan mesin berpendingin yang digunakan sebagai ruang penyimpanan berbagai macam bahan pangan terutama yang mudah rusak (*perishable*) dengan tujuan untuk mempertahankan kualitas bahan pangan tersebut. *Cold room* terdiri dari beberapa jenis yang umumnya digunakan seperti *chilled room, freezer room, blast freezer, dan blast chiller*. Fungsi dari keempat jenis *cold room* ini berbeda – beda. Untuk *chiller* dan *freezer room* umumnya berfungsi untuk menyimpan bahan pangan dengan kondisi tertentu. Sedangkan untuk *blast freezer* dan *blast chiller* berfungsi untuk menyimpan bahan pangan dengan kondisi tertentu dan membutuhkan waktu cepat dalam pendinginannya.

Chilled room memiliki suhu yang berkisar antara 1°C sampai 7°C. Bahan pangan yang biasa disimpan dalam *chilled room* adalah bahan pangan segar seperti buah – buahan dan sayuran. *Chilled room* memiliki kesamaan fungsi dengan *thawing room*, karena untuk menggunakan bahan pangan yang sebelumnya dibekukan membutuhkan proses *thawing* yang tidak bisa langsung ke suhu normal melainkan di suhu chiller terlebih dahulu. *Thawing room* memiliki suhu sekitar 10°C. Sedangkan *freezer room* memiliki suhu yang berkisar antara -15°C sampai -20°C. Bahan pangan yang biasa disimpan dalam *freezer room* seperti daging, ikan, unggas, dan bahan pangan lain yang membutuhkan suhu beku. *Blast chiller* memiliki fungsi untuk mendinginkan bahan pangan secara cepat setelah selesai dimasak, dengan kisaran suhu penyimpanan 1°C sampai 4°C. *Blast freezer* memiliki fungsi untuk mendinginkan bahan baku untuk makanan beku atau olahan secara cepat dengan kisaran suhu -20°C sampai -35°C.

Penggunaan blast chiller dan *blast freezer* bertujuan untuk mencegah terjadinya kontaminasi dari bakteri, mengurangi kadar air, menjaga kadar zat gizi yang terkandung dalam pangan, mempertahankan cita rasa dan kualitas. Dalam penggunaan *cold room* terdapat hal penting yang harus diperhatikan yaitu menjaga kestabilan suhu. Kestabilan suhu menjadi penting karena bahan pangan yang disimpan dapat mengalami penurunan kualitas bahkan rusak jika terjadi ketidakstabilan suhu. Selain itu mesin pendingin yang terdapat di dalam *cold room* juga akan rusak.

Dalam *cold room* menjaga suhu tetap stabil menjadi sebuah tantangan tersendiri khususnya pada saat proses bongkar muat dari *refrigerated truck* ke dalam *cold room* tentu suhu panas dari lingkungan akan masuk ke dalam *cold room*. Tantangan kestabilan suhu pada saat bongkar muat dapat diatasi dengan *loading system*. *Loading system* membuat sebuah terobosan baru *docking equipment* yaitu *stepped dock system*. *Stepped dock system* ini memungkinkan *refrigerated truck* untuk membuka pintu dalam gudang sehingga tidak ada celah untuk panas dari lingkungan masuk ke dalam *cold room*.

Refrigerated Truck

Refrigerated *Truck* merupakan salah satu peralatan yang sering digunakan dalam transportasi dan distribusi bahan pangan. *Refrigerated Truck* memiliki panjang mencapai 17 m, lebar 2,6 m, dan tinggi 4,3 m. *Refrigerated Truck* ini harus memiliki *body* yang ringan dan kaku dengan karakteristik isolasi yang baik. Untuk dapat memiliki karakteristik isolasi yang baik maka digunakanlah lapisan insulasi yang tebal pada dinding *body truck*. Hal ini bertujuan untuk mengurangi laju panas yang masuk ke dalam ruangan pendingin. Namun hal tersebut juga dapat berefek terhadap berkurangnya ruang untuk penyimpanan. Bahan insulasi yang umumnya digunakan adalah busa uretana dikarenakan bahan ini memiliki konduktivitas termal yang rendah (k = 0,026 W/m.°C). Ketebalan poliuretan yang digunakan berkisar antara 7,5 sampai 10 cm untuk *freezer truck* dengan suhu yang dipertahankan pada -18°C atau lebih rendah. Sedangkan untuk *refrigrated truck* ketebalan bahan insulasi yang digunakan 2,5 sampai 6,5 cm dan suhu dipertahankan diatas suhu beku.

Permukaan luar dari *refrigerated truck* harus memiliki sifat yang tahan uap. Hal ini ditujukan untuk mencegah uap air masuk ke dalam isolasi dan kondensasi di dalam isolasi.

Secara teknis, sebelum bahan pangan dimuat ke *refrigerated truck* maka bagian dalam *refrigerated truck* dan bahan pangan harus didinginkan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena *refrigerated truck* tidak memiliki kapasitas pendingin tambahan untuk mendinginkan produk dengan cepat. Pada *refrigerated truck* proses pembekuan dan pemanasan dipasang otomatis dan operator hanya perlu mengatur termostat pada tingkat yang diinginkan. Sistem penyimpanan pada *refrigerated truck* menyediakan suhu yang telah ditentukan. Termostat harus dikalibrasi secara teratur karena jika terjadi penyimpangan derajat dari pengaturan suhu yang telah ditentukan dapat berpengaruh pada kerusakan bahan pangan yang disebabkan oleh pembekuan atau pembusukan yang berlebihan.

Bahan pangan yang akan dimuat dalam *refrigerated truck* biasanya menggunakan wadah. Wadah tersebut harus memungkinkan terjadinya pertukaran panas sekaligus melindungi bahan pangan. Wadah yang digunakan juga harus memiliki sirkulasi udara.

Media Pendingin Alternatif

Es Batu

Es batu merupakan media pendingin alternatif yang sudah digunakan sejak zaman dahulu. Pemilihan es batu sebagai media pendingin alternatif dikarenakan beberapa pertimbangan seperti harganya yang relatif murah, mudah dalam pembuatannya, dan mudah dalam pengemasan. Namun media pendingin alternatif ini juga memiliki kekurangan seperti sifatnya yang mudah mencair, tidak dapat digunakan secara berulang, dan jangka penggunaannya yang relatif singkat. Es batu yang digunakan untuk media pendingin alternatif bahan pangan harus memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI No. 01 - 3839 - 1995. Di dalam peraturan tersebut dijelaskan bahwa es batu yang layak digunakan harus memenuhi syarat – syarat air minum yang sesuai dengan PerMenKes RI No. 416/Menkes/Per/IX/1990. Dalam PerMenKes tersebut

dicantumkan syarat mutu yang harus diterapkan untuk es batu yaitu syarat mutu mikrobiologi total *Coliform* tidak melebihi 0 bakteri/100 ml dan *Coliform fekal* tidak melebihi 0 bakteri/100 ml.

Es batu yang umumnya digunakan terbagai menjadi 2 jenis yaitu es balok dan es kristal. Kedua jenis es batu ini memiliki fungsi yang berbeda. Untuk es batu jenis es balok biasanya digunakan untuk mengawetkan hasil laut dan penyimpanan dingin pangan seperti yang ada dalam *coolbox.* Sedangkan untuk jenis es kristal banyak digunakan dalam minuman karena lebih jernih, tidak perlu dipecahkan sebelum menggunakannya, dan bentuknya lebih seragam. Es kristal dibuat menggunakan alat yang disebut *ice tube*.

Ice Pack Gel

Ice pack *gel* adalah salah satu media pendingin alternatif yang sekarang mulai dikembangkan*. Ice pack gel* merupakan media pendingin yang berbentuk gel cair. Pada umumnya *ice pack gel* dibuat dengan formulasi khusus sehingga dapat menghasilkan gel yang lembut dan dapat dibekukan sehingga dapat mendinginkan produk. *Ice pack gel* diformulasikan dengan menggunakan 70% air, 25% propilen glikol, dan 5% berat hidroksipropil metilselulosa dengan jenis KISMDGS yang telah dipasarkan oleh Minnosta Mining and Manufacturing Company, Amerika. *Ice pack gel* dapat menghasilkan dingin hingga -23°C*. Ice pack gel* penting memiliki viskositas 100.000 cP pada suhu ruang*. Ice pack gel* digunakan sebagai pengganti penggunaan es batu dan *dry ice* yang dapat digunakan secara berulang dan dapat menjaga suhu rendah hingga 12 jam pada proses penyimpanan dingin dalam wadah *box styrofoam. Ice pack gel* pada umumnya digunakan untuk menyimpan obat-obatan, ASI, dan beberapa produk pangan seperti penyimpanan sementara ikan segar. *Ice pack gel* akan bekerja lebik baik dalam kemasan yang tertutup.

Ice pack gel memiliki karakteristik beku pada suhu rendah dan cair pada suhu ruang. Jika dilihat dari material pembentuknya, *ice pack gel* terbagi menjadi dua jenis yaitu *ice pack gel* yang hanya berfungsi sebagai pendingin dan *ice pack gel* yang berfungsi ganda (media pendingin sekaligus media pemanas). *Ice pack gel* yang bewarna biru berfungsi

sebagai media pendingin sedangkan *ice pack gel* yang bewarna putih berfungsi ganda yaitu sebagai media pendingin sekaligus pemanas.

Bentuk *Ice pack gel* memiliki peranan penting dalam penyimpanan suhu rendah. *Ice pack gel* yang memiliki permukaan luas dan volume kecil akan lebih mudah mencair tetapi tetap bisa mempertahankan produk dalam suhu rendah. Sedangkan *ice pack gel* yang memiliki permukaan yang kecil dan volume besar lebih bertahan lama tetapi tidak dapat mempertahankan produk pada suhu rendah dalam waktu yang lama.

Phase Change Material (PCM)

Media pendingin alternatif semakin dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan suhu rendah bahan pangan. Salah satu media alternatif yang dikembangkan dan mulai sering digunakan baik untuk industri skala kecil maupun skala besar adalah *phase change material* (PCM). *Phase change material* (PCM) merupakan media pendingin alternatif dengan prinsip penyimpanan energi termal sehingga mampu untuk menyerap dan melepaskan sejumlah besar kalor selama proses perubahan fase. Secara umum PCM diklasifikasikan berdasarkan keadaan zat sebelum dan sesudah perubahan fase dan sifat kimiawinya. Diantara media pendingin alternatif yang sudah ada, PCM memiliki keunggulan yaitu suhu penyimpanan dapat disesuaikan dengan bahan pangan yang akan disimpan sehingga penyimpanan lebih optimal.

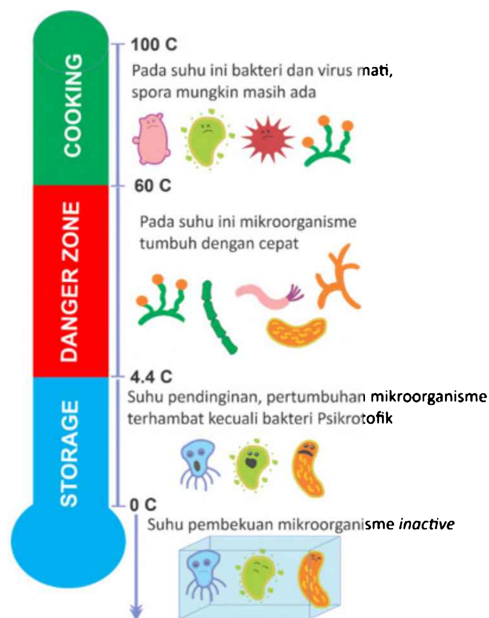
Untuk menghasilkan PCM dengan kualitas yang baik maka ada beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti jenis bahan, metode pembuatan, sifat termal fisik, dan mekanisme perpindahan panas. Jenis bahan yang digunakan dibagi menjadi 3 klasifikasi berdasarkan sifat kimiawinya yaitu organik, anorganik, dan *eutectic*. Dari setiap jenis ini tentu memiliki kekurangan dan kelebihan masing – masing. Untuk jenis bahan organik memiliki kelebihan seperti tidak korosif, tidak beracun, tidak terjadi *supercooling*, dan tidak terjadi pemisahan fase. Sedangkan kelemahan bahan organik adalah mudah terbakar, panas laten rendah, dan konduktivitas termal yang rendah. Untuk bahan jenis anorganik memiliki kelebihan seperti konduktivitas termal yang tinggi, perpindahan panas yang baik, dan harganya yang murah. Sedangkan untuk kelemahan

jenis bahan anorganik yaitu terjadi pemisahan fase, korosif, toksisitas yang relatif tinggi, dan terjadi *supercooling*. Untuk bahan jenis *eutectic* merupakan PCM yang terbentuk dari campuran antar PCM untuk mendapatkan PCM dengan karakteristik yang lebih baik.

Metode pembuatan menjadi salah satu parameter yang penting karena dapat meningkatkan kinerja PCM sebagai media pendingin alternatif. Metode pembuatan PCM terbagi menjadi 3 yaitu metode enkapsulasi, struktur nano, dan *composite*. Metode enkapsulasi merupakan sebuah metode yang digunakan dengan cara menyalut partikel padat, cair, atau gas dalam sebuah bahan penyalut yang kompatible. Penerapan metode ini bertujuan untuk melindungi PCM dari kebocoran jika digabungkan dengan bahan pangan, meningkatkan kinerja dari PCM, mengatasi kekurangan dari PCM tunggal, dan melindungi dari degradasi selama proses penyerapan dan pelepasan panas. Metode *composite* merupakan metode yang dibuat dengan menggabungkan salah satu jenis PCM dengan campuran *biner* atau *multiple*. Metode struktur nano merupakan metode yang membuat salah satu PCM menjadi struktur nano dan kemudian didispersikan pada PCM lainnya.

Sifat termal fisik menjadi parameter yang penting karena dengan mengetahui sifat termal fisik dari PCM maka dapat diketahui karakteristik dari PCM tersebut. Hal ini menjadi penting dikarenakan PCM bekerja secara spesifik, sehingga untuk menghasilkan penyimpanan yang optimal maka karakteristik PCM harus disesuaikan dengan bahan pangan yang akan disimpan. Sifat termal fisik yang mempengaruhi PCM antara lain panas fusi, konduktivitas termal, panas spesifik, viskositas, densitas, dan suhu leleh. Mekanisme perpindahan panas menjadi parameter yang harus diperhatikan juga untuk mengetahui kualitas PCM sebagai media pendingin alternatif untuk mendinginkan dan mempertahankan suhu bahan pangan agar kualitasnya tetap terjaga. Dengan mengetahui parameter penentu kualitas dari PCM ini maka mengetahui keefektifan PCM sebagai media pendingin alternatif dan menyesuaikan karakteristik dari PCM dengan bahan pangan yang akan disimpan sehingga penyimpanan akan lebih optimal.

KETAHANAN MIKROORGANISME PADA SUHU RENDAH



Pangan merupakan media tumbuh bagi mikroorganisme. Sifat mikroba yang dapat membusukan pangan adalah hal yang tidak dikehendaki karena dapat memperpendek umur simpan. Salah satu faktor pertumbuhan penting bagi mikroba selain dari karakteristik dan komposisi bahan pangan adalah suhu yang berada disekelilingnya. Secara umum, aktivitas metabolisme akan terhambat pada penyimpanan suhu rendah. Namun, terdapat jenis

mikroba yang tetap dapat melakukan aktivitas metabolismenya yaitu mikroba psikrotrofik (baik psikrofilik maupun mesofilik). Mikroba tersebut memiliki rentang suhu pertumbuhan pada kondisi suhu chiller/ dingin, sedangkan pada suhu pembekuan aktivitas akan terhenti bahkan bisa terjadi kematian. Dengan demikian, penyimpanan bahan pangan pada suhu dingin tetap memiliki masa kadaluarsanya, terlebih setelah proses thawing berlangsung. Dikarenakan mikroba dapat melakukan aktivitas metabolismenya kembali setelah enzim atau protein teraktivasi pada suhu kamar.

Mikroorganisme Sebagai Organisme Pembusuk

Mikroorganisme atau mikroba adalah makhluk hidup yang memiliki peranan dalam kehidupan biosfer. Dari segi bahasa Yunani, mikroorganisme terdiri dari kata *mikro* (kecil), *bios* (hidup) dan *logos* (ilmu) yang berarti organisme berukuran renik yang tidak dapat dilihat dengan kasat mata, melainkan memerlukan alat bantu seperti mikroskop. Secara garis besar, terdapat dua golongan mikroorganisme menurut peranannya di biosfer, yaitu mikroba yang berbahaya dan mikroba yang menguntungkan. Mikroba yang berbahaya atau yang biasa disebut dengan patogen, diantaranya adalah mikroba yang menyebabkan pembusukan pada makanan dan mikroba yang menyebabkan penyakit pada makhluk lainnya. Mikroorganisme tidak sepenuhnya bersifat patogen atau berbahaya, tetapi ada pula yang bermanfaat bagi kehidupan. Diantaranya adalah mikroba yang berperan terhadap pembentukan makanan atau minuman fermentasi, serta mikroba sebagai dekomposer di alam semesta.

Namun, berkaitan dengan penyimpanan pangan segar maupun pangan olahan, maka jenis mikroba yang berasosiasi adalah mikroba yang tidak menguntungkan karena sifatnya yang membusukkan makanan. Mikroba ini terdiri dari jenis bakteri, ragi maupun kapang. Setiap jenis mikroba tersebut memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda-beda sehingga akan tumbuh pada jenis makanan yang berbeda pula baik secara intrinsik yaitu pada komposisi penyusunan makanan, maupun faktor ekstrinsiknya yaitu lingkungan yang mengelilinginya.

Faktor Pertumbuhan Mikroorganisme

Mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang pada makanan dengan dipengaruhi faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik. Faktor intrinsik meliputi bagian yang terkandung pada bahan pangan diantaranya adalah pH, kadar air, potensi redoks, kandungan zat gizi, konstituen antimikroba dan struktur biologis bahan pangan. Sedangkan faktor ekstrinsik terdiri dari suhu penyimpanan, kelembapan relatif lingkungan, keberadaan dan konsentrasi gas serta keberadaan dan aktivitas mikroorganisme lain. Dari faktor luar yang berpengaruh tersebut, suhu penyimpanan menjadi parameter penting untuk pertumbuhan mikroba.

Mikroorganisme melakukan aktivitas metabolisme untuk menunjang kehidupannya. Sebagaimana layaknya makhluk hidup lainnya, mikroba memiliki aktivitas metabolisme, baik anabolisme maupun katabolisme. Dalam melakukan aktivitas tersebut, mikroba selalu membutuhkan enzim untuk mempercepat reaksi. Hal ini yang menjadi dasar suatu aktivitas enzimatis pada mikroba berfungsi dengan baik atau tidak. Masing - masing mikroba secara spesifik memiliki suhu optimum untuk tumbuh diantara rentang suhu pertumbuhannya. Pada kondisi suhu ekstrim yaitu suhu diluar rentang suhu pertumbuhan, mikroba memiliki sistem untuk mempertahankan kehidupannya. Enzim berupa protein juga membutuhkan suhu optimum untuk aktivasi. Aktivitas metabolisme, reaksi enzimatik dan pertumbuhan mikroba akan bekerja dengan baik pada suhu pertumbuhan optimumnya. Saat suhu rendah, aktivitas metabolisme mikroba akan melambat, karena laju katalis enzim sangat bergantung kepada suhu.

Penggolongan Mikroorganisme Berdasarkan Suhu Pertumbuhan

Mikroorganisme, baik secara individu maupun berkelompok, dapat tumbuh pada rentang suhu tertentu. Suhu terendah mikroorganisme dapat tumbuh berada pada -34°C, sedangkan suhu tertinggi diatas 100°C. Pada prinsipnya, pertumbuhan mikroba dapat berlangsung dengan reaksi enzimatis. Setiap peningkatan suhu 10°C (50°F), laju katalitik enzim meningkat sebanyak dua kali. Begitu juga sebaliknya, laju reaksi enzimatis akan tereduksi setengahnya dengan adanya penurunan suhu 10°C. Dikarenakan suhu dapat berpengaruh terhadap reaksi enzimatis, hal ini menjadi sangatlah penting pada pertumbuhan mikroba.

Berdasarkan suhu pertumbuhan mikroba, terdapat lima golongan bakteri sebagai berikut:

1. Bakteri Psikrofilik

Organisme ini tumbuh dengan baik diantara 7 - 15°C dan rentang suhu yang masih dapat diterima yaitu (-5) - 20°C. Psikrofilik dapat tumbuh pada suhu lemari es maupun penyimpanan dingin (4,4°C). Karakteristik dari semua bakteri psikrofilik adalah akan tumbuh pada suhu 0 - 5 °C.

2. Bakteri Psikrotrofik

Merupakan definisi dari mikroorganisme yang dapat tumbuh pada makanan yang disimpan pada suhu lemari es terlepas dari jenis psikrofilik maupun mesofilik. Rentang suhu berada di antara (-2) - 35 °C. Mikroba ini dapat menyebabkan kebusukan makanan pada suhu 5 - 7°C seperti daging, ikan, unggas, telur dan jenis makanan lain yang biasa disimpan pada suhu tersebut. Pengujian angka lempeng total (ALT) pada suhu 7°C dengan waktu inkubasi setidaknya 7 hari menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penyimpanan di suhu diatas 30°C. Hal ini membuktikan bahwa mikroba tetap dapat tumbuh pada suhu refrigerator, bahkan jauh lebih tahan terhadap suhu rendah dibandingkan suhu tinggi. Beberapa spesies mesofilik pun ditemukan pada suhu refrigerator ini. Ada jenis bakteri yang dapat tumbuh di kisaran rentang suhu yang luas yaitu bakteri *Enterococcus faecalis*.

3. Bakteri Mesofilik

Untuk mikroba dikisaran 15 - 45°C dengan optimum tumbuh dikisaran 30 -40°C, karakteristik mikroba ini dapat tumbuh pada suhu tubuh (37 °C), dan tidak dapat tumbuh pada suhu di atas 45 °C.

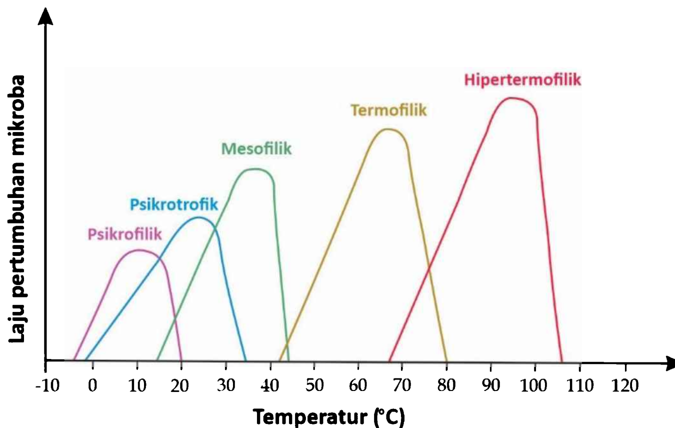
4. Bakteri Termofilik

Mikroba ini dapat tumbuh optimum pada suhu 45°C dengan kisaran suhu 40 -80°C. Spesies dari *Bacillus*, *Clostridium*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* termasuk dalam kelompok ini. Habitat bakteri termofilik adalah pada tempat -tempat yang mempunyai kondisi lingkungan panas, dapat hidup dan berkembang biak pada lingkungan yang ekstrem. Beberapa habitat ekstrem bagi bakteri termofilik diantaranya adalah sumber air panas, kawah gunung berapi, dan di celah hidrotermal kedalaman air laut.

5. Bakteri Hipertermofilik

Bakteri ini dapat tumbuh pada kisaran suhu 70°C dan 105°C (suhu yang dianggap membatasi kinerja enzim dan struktur sel). Sebagian besar mikroba ini berasal dari domain *Archaea* (terutama Kingdom

Crenarchaeota), sebagian lagi dari domain bakteri. Mikroorganisme ini cenderung hidup di lingkungan dengan suhu rata - rata yang tinggi.



Gambar Laju Pertumbuhan Berbagai Jenis Bakteri

(Gambar ulang dari Prescott, et.al., 2005)

Pada kapang, pertumbuhan didukung dengan rentang suhu yang lebih luas sama seperti pada bakteri. Beberapa kapang ditemukan pada telur, bagian daging, dan buah - buahan. Sedangkan *yeast* lebih luas rentang suhu pertumbuhan di kisaran tumbuh psikrofilik dan mesofilik, namun tidak untuk termofilik.

Apakah mikroorganisme mati pada suhu rendah

Sel-sel mikroba terutama prokariot tidak dapat mengatur suhu dalam sistem intraselulernya sehingga suhu yang terdapat di sekelilingnya menjadi bagian dari habitat alami mereka. Kelangsungan hidup mikroba tergantung pada kemampuan beradaptasi pada berbagai varian suhu. Suhu kisaran terdiri dari tiga titik kardinal, diantaranya suhu minimum, suhu optimum dan suhu maksimum. Suhu minimum adalah suhu terendah yang memungkinkan aktivitas metabolisme mikroba jika di bawah nilai tersebut maka aktivitas menjadi terhambat. Suhu optimum yaitu rentang menengah antara minimum dan maksimum dimana metabolisme mikroba

dalam kondisi aktif bekerja, dan tercapai pertumbuhan yang sangat baik. Sedangkan suhu maksimum adalah batasan suhu tertinggi mikroba untuk melakukan metabolisme, namun jika berada diatas suhu maksimumnya maka pertumbuhan akan terhenti, enzim dan asam nukleat akan menjadi tidak aktif atau dikenal dengan denaturasi, dan sel pun akan mengalami kematian.

Pangan sejak dari pertanian hingga dihidangkan ke tangan konsumen tentu akan terpapar pada suhu yang berbeda-beda. Bergantung dengan proses pengolahan yang digunakan, suatu bahan pangan akan mengalami perubahan suhu dari sekitar 65°C menjadi lebih besar dari suhu 100°C. Pada kasus penyimpanan yang panjang, makanan dapat disimpan pada suhu 5°C (lemari es) hingga -20°C atau bahkan dibawahnya (pada suhu pembekuan). Beberapa makanan yang relatif stabil disimpan pada suhu diantara 10 dan 35°C (dingin hingga suhu kamar). Beberapa produk siap santap (*Ready To Eat*/ RTE) disimpan pada suhu hangat (50 - 60°C) untuk beberapa jam. Perbedaan suhu juga digunakan untuk merangsang pertumbuhan mikroba yang diinginkan dalam fermentasi makanan.

Pertumbuhan mikroorganisme pada rentang suhu di bawah optimal dapat menyebabkan sejumlah perubahan fisiologis dan morfologi. Perubahan produk metabolik dapat terjadi sebagai respon dari aktivitas enzim yang tertunda. Penurunan suhu selama pertumbuhan juga dapat menyebabkan ketidakseimbangan metabolik bahkan pertumbuhan dapat terhenti karena sensitivitas beberapa proses pengaturan metabolik. Inkubasi pada suhu rendah juga dapat mengubah komposisi lipid sel mikroba. Baik bakteri dan ragi mengalami peningkatan proporsi asam lemak tak jenuh seiring dengan penurunan suhu. Peningkatan proporsi asam lemak tak jenuh diyakini penting untuk fungsi membran pada suhu rendah.

Ketika suhu diturunkan, beberapa komponen yang biasanya berbentuk cairan berubah bentuk menjadi gel, hal ini tentu dapat merusak fungsi protein sehingga mengakibatkan kebocoran membran bakteri. Protein pada membran sel baik integral maupun peripheral berfungsi dalam arus lalu lintas keluar masuknya zat. Namun, jika komponen

membran berubah, dengan kata lain membran mempertahankan fluiditas saat suhu menurun, pembentukan gel dapat dicegah sehingga bakteri masih bisa melakukan pertumbuhannya.

Respons lain terhadap penurunan suhu yang tiba-tiba melibatkan pola ekspresi gen, yang disebut "respons kejutan dingin". Hal ini melibatkan induksi protein kejutan dingin, protein aklimatisasi dingin, dan represi protein kejutan panas. Suhu dapat mempengaruhi respon mikroorganisme secara langsung terhadap laju pertumbuhan, aktivitas enzim, komposisi sel, dan kebutuhan zat gizi, atau secara tidak langsung yaitu pengaruhnya terhadap kelarutan molekul zat terlarut, transpor ion dan difusi, efek osmotik pada membran, tegangan permukaan, dan kepadatan. Ketika suhu menurun, fase lag memanjang, laju pertumbuhan menurun, dan jumlah sel akhir dapat menurun. Selama fase lag, banyak perubahan fisiologis terjadi, termasuk penurunan saturasi asam lemak dan penghambatan DNA, RNA, dan sintesis protein. Pertumbuhan mikroorganisme pada suhu di bawah optimum pertumbuhannya juga dapat menyebabkan sejumlah perubahan struktural seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Contoh Perubahan Struktur Selama Pertumbuhan Pada Suhu Rendah

Perubahan struktur	Contoh
Peningkatan ukuran sel	*Candida utilis*
Pembentukan filamen	*Escherichia coli*; *Pseudomonas pulida*; *Salmonella enteritidis* PT4 strain E isolate
Deteriorasi mesosom	*Bacillus subtilis*
Pembentukan dinding sel ganda	*Bacillus subtilis*

(Sumber: Beales, 2004)

Terjadi peningkatan produksi pigmen dan aktivitas enzimatis lainnya pada suhu rendah; misalnya, produksi lipase dan proteinase oleh *Pseudomonas* dan genera lain. Selain itu, *Serratia marcescens* memproduksi pigmen merah pada suhu yang lebih rendah (25°C) dibandingkan pada suhu 37°C. Toleransi terhadap suhu rendah juga dapat diamati setelah

perlakuan awal organisme terhadap suhu subletal dengan menghasilkan kelangsungan hidup yang lebih besar. Sebagai contoh, perlakuan awal pada 20°C dari *Streptococcus thermophilus*, menghasilkan peningkatan kelangsungan hidup 1000 kali lipat setelah 4 siklus pembekuan -pencairan dibandingkan dengan sel-sel yang tidak diberi perlakuan sebelumnya. Sejarah suhu sel sebelumnya telah ditemukan menjadi penentu penting dari kelangsungan hidup dan pertumbuhan organisme karena pengaruhnya terhadap panjang fase lag sebelum pertumbuhan dimulai. Hasil tersebut menunjukkan lamanya waktu jeda pertumbuhan suatu organisme dalam makanan akan bergantung pada banyak faktor lain, termasuk suhu di mana organisme tersebut sebelumnya diinkubasikan.

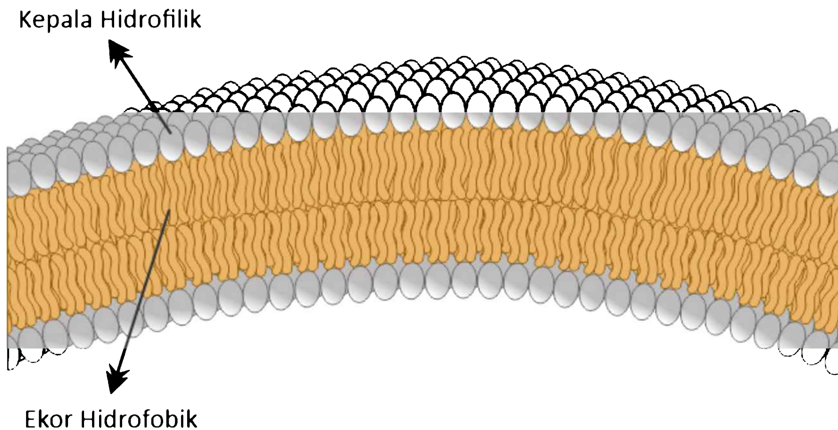
Bakteri juga mungkin menghadapi sejumlah perubahan suhu dalam lingkungan pengolahan pangan. Misalnya, jika mikroorganisme dalam makanan yang didinginkan berasal dari sumber mamalia, kemungkinan jeda waktu akan menjadi maksimum; namun, jika organisme berasal dari lingkungan yang dingin, maka jeda waktu kemungkinan menjadi minimum. Dengan demikian, mikroba tidak akan mati pada suhu dingin, khususnya untuk mikroba golongan psikrotrofik yaitu psikrofilik dan mesofilik.

Pengendalian mikroorganisme pada suhu rendah

Penyimpanan makanan pada suhu rendah tentu menjadi alasan untuk memperpanjang masa simpan dari bahaya perkembangbiakan mikroba pembusuk. Namun, sensitivitas sel terhadap tekanan dingin bergantung pada beberapa faktor diantaranya suhu, laju pendinginan/ pembekuan, media pangan, regangan mikroba dan lama penyimpanan.

Respon membran sel terhadap suhu rendah

Membran sel adalah sistem heterogen kompleks yang sifatnya sebagian besar ditentukan oleh komposisi dan organisasi spasialnya serta oleh pengaruh eksternal, di mana suhu adalah salah satu parameter penting. Membran sel disebut sebagai membran lipid lapisan berganda, terdiri dari bagian kepala hidrofilik yang berada di area luar sel serta di bagian dalam sel, dan juga bagian hifrobik di bagian dalam membran sel.



Gambar Lipid Bilayer

(Gambar ulang dari Reece et.al, 2014)

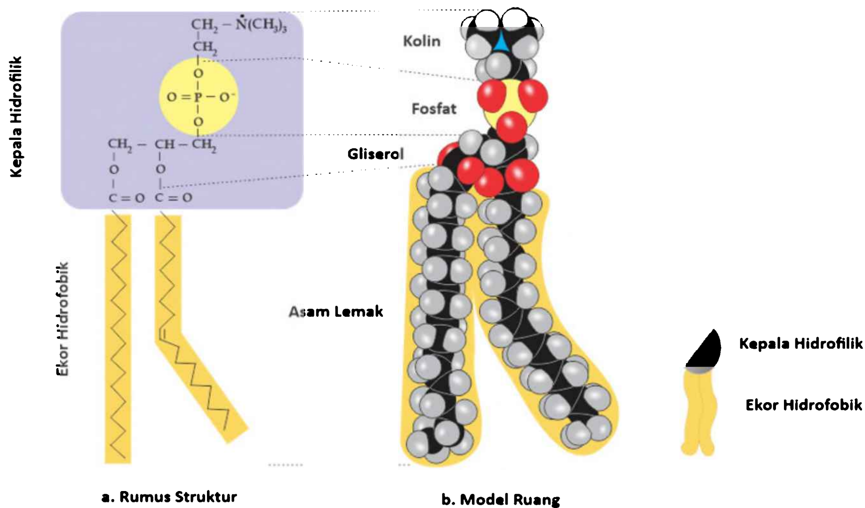
Pengaruh suhu pada serapan zat terlarut

Mikroorganisme seperti psikrotrofik dapat tumbuh dengan cepat pada suhu rendah jika efektif mengangkut molekul yang larut melintasi membran sitoplasma. Psikrotrofik mampu mengoksidasi glukosa eksogen pada 0°C, sedangkan mesofilik tidak menunjukkan aktivitas metabolik pada suhu kurang dari 5°C. Namun, mesofilik mampu bermetabolisme secara endogen pada suhu kurang dari 5°C, hal ini menunjukkan bahwa faktor pembatasnya adalah kemampuan untuk mengangkut gula ke dalam sel pada suhu mendekati 0°C. Sebaliknya, penelitian lain telah menunjukkan pengambilan substrat sebagian besar tidak bergantung pada suhu.

Berikut ini adalah perbedaan antara kemampuan psikrofilik dan mesofilik dalam mengangkut zat terlarut masuk ke dalam sel pada suhu rendah: kemampuan permeabilitas membran, Psikrofilik tidak sensitif terhadap inaktivasi suhu rendah dibandingkan dengan mesofilik; permeabilitas membran pada mesofilik sebetulnya tidak sensitif terhadap dingin, tetapi terdapat perubahan membran lipid lapisan berganda yang membuat mereka tidak dapat mengikat substrat dan pada suhu rendah, ada energi yang tidak cukup dalam mesofilik untuk memungkinkan transpor aktif melintasi membran.

Perubahan suhu yang disebabkan komposisi asam lemak

Di dalam membran sel, molekul fosfolipid disusun dalam bentuk bilayer dengan gugus kepala kutub pada permukaan intraseluler dan ekstraseluler. Kelompok-kelompok ini dengan demikian dapat berinteraksi dengan fase air di dalam dan di luar sel.



Gambar Struktur Lipid Bilayer

(Gambar ulang dari Reece et.al, 2014)

Sebaliknya, rantai asil asam lemak ditumpuk secara paralel pada sudut siku-siku ke bidang membran, dengan gugus metil terminal terletak di bagian dalam lapisan ganda. Mikroorganisme menyesuaikan komposisi membrane lipidnya sebagai respons terhadap perubahan suhu pertumbuhan untuk memastikan fungsi membran seperti aktivitas enzim dan transpor zat terlarut. Umumnya selama pertumbuhan suhu rendah, komposisi asam lemak fosfolipid dan glikolipid paling sering berubah karena fluiditas membran berubah pada struktur bagian asam lemak dibandingkan di kelompok kepala. Agar sel berfungsi normal, lapisan membran lipid ganda harus dalam kondisi cair sehingga protein membran dapat terus memompa ion, mengambil zat gizi, dan melakukan respirasi.

Oleh karena itu, sangat penting mengondisikan membran lipid dalam keadaan kristal cair.

Ketika suhu pertumbuhan mikroorganisme berkurang, beberapa komponen yang biasanya cair menjadi seperti gel, yang mencegah protein berfungsi normal; Oleh karena itu, agar komponen ini tetap cair, sejumlah perubahan pola asam lemak harus terjadi. Rantai asam lemak tak jenuh adalah perubahan yang paling sering ditemukan yang terjadi saat suhu diturunkan; hal ini meningkatkan fluiditas membran karena gugus asam lemak tak jenuh menciptakan lebih banyak gangguan pada membran daripada rantai jenuh dan dicapai oleh desaturase yang terletak di membran itu sendiri. Dengan demikian mampu bereaksi dengan cepat. Misalnya, *Clostridium botulinum* mengalami peningkatan tingkat ketidakjenuhan, dari 27% menjadi 40%, setelah penurunan suhu dari 37°C menjadi 8°C. Peningkatan asam lemak tak jenuh pada *Aspergillus niger*, *Neurospora crassa*, *Penicillium chrysogenum*, dan *Trichoderma reesei* juga diamati pada penurunan suhu.

Panjang rantai asam lemak rata - rata dapat diperpendek, yang akan berdampak pada peningkatan fluiditas membran sel karena interaksi karbon -karbon yang lebih sedikit antara rantai tetangga. Organisme psikrofilik, *Micrococcus cryophilus* misalnya, yang mengandung asam lemak tak jenuh dalam proporsi tinggi di bawah semua kondisi pertumbuhan, merespons penurunan suhu, dari 20°C menjadi 0°C dengan pengurangan panjang rantai rata-rata asam lemak. Rata-rata panjang rantai asam lemak pada ragi *Zygosaccharomyces bailii* juga menurun pada suhu rendah. Setelah penurunan suhu, peningkatan jumlah dan/ atau jenis asam lemak bercabang juga dapat terjadi. Mungkin ada penurunan proporsi asam lemak siklik dan dengan demikian peningkatan asam lemak rantai lurus tak jenuh tunggal seperti yang ditunjukkan pada *Salmonella spp*. dan *C. botulinum*. Ini lagi-lagi meningkatkan fluiditas membran karena ikatan rangkap menciptakan lebih banyak gangguan pada pengemasan rantai asam lemak di bilayer daripada cincin siklopropana.

Tabel 2. Perubahan Komposisi Asam Lemak Pada Suhu Rendah

Perubahan komposisi asam lemak	Tujuan
Asam lemak tidak jenuh	Mempertahankan fluiditas membran
Modifikasi pola percabangan anteiso/ iso	
Pemendekan pada panjang rantai asam lemak	

(Sumber: Beales, 2004)

Semua perubahan ini, seperti dirangkum dalam Tabel 2, menghasilkan "membran yang mempertahankan fluiditasnya, dengan menghasilkan lipid dengan gel yang lebih rendah ke suhu transisi kristal cair, dengan memasukkan asam lemak titik leleh yang lebih rendah secara proporsional ke dalam membran lipid ". Hal ini memungkinkan membran berfungsi normal dan karena itu mempertahankan kemampuannya untuk mengatur aktivitas sistem transportasi zat terlarut dan fungsi enzim terikat membran esensial dan juga mengkompensasi penurunan suhu pertumbuhan.

Efek penurunan suhu pada komposisi asam lemak membran *L. monocytogenes* telah dipelajari secara ekstensif. Enam spesies *Listeria*, termasuk *L. monocytogenes*, juga merespon suhu rendah dengan meningkatkan proporsi $C_{15:0}$. Rantai $C_{15:0}$ memiliki peran penting dalam pertumbuhan *L. monocytogenes* pada suhu dingin, mungkin melalui sifat fisiknya dan efeknya dalam mempertahankan keadaan cair, kristal cair dari membran lipid. Mikroorganisme lain dengan respon serupa termasuk *Pseudomonas fluorescens*, *Escherichia coli* ML30, *Lactobacillus plantarum* dan *Yersinia enterocolitica* yang merespons suhu rendah dengan mensintesis peningkatan proporsi asam lemak tak jenuh dengan mengorbankan asam lemak jenuh. Komposisi asam lemak juga telah dipelajari pada spesies *Serratia*, *E. coli*, Pseudomonads, dan ragi seperti *Candida utilis* dan *Saccharomyces cerevisiae*.

Respon *Bacillus subtilis* terhadap penurunan suhu dari 37°C menjadi 15°C. Selama respon kejut dingin, *B. subtilis* mengubah komposisi

membrannya dengan meningkatkan kandungan asam lemak bercabang ante-iso dan menurunkan kandungan bercabang iso. Namun, strain yang kekurangan isoleusin tidak dapat mensintesis lebih banyak asam lemak bercabang ante-iso setelah penurunan suhu, menunjukkan pentingnya isoleusin untuk kelangsungan hidup *B. subtilis* untuk penurunan suhu dari 37°C menjadi 15°C.

Efek lain dari penurunan suhu. Untuk mengkompensasi aktivitas metabolik yang berkurang pada suhu rendah, telah disarankan bahwa psikrofilik juga mensintesis peningkatan level enzim. Pada suhu rendah, aktivitas enzim spesifik yang tinggi dari mikroorganisme psikrofilik telah dianggap disebabkan oleh struktur konformasi yang lebih longgar dan lebih fleksibel dari protein. Karena kemampuan psikrofilik untuk menghasilkan enzim yang beradaptasi dengan dingin seperti galaktosidase yang menunjukkan aktivitas katalitik tinggi pada suhu rendah, dari enzim yang diadaptasi dingin tersebut banyak digunakan dalam pemrosesan makanan, seperti untuk memproses jus buah dan susu, dalam kondisi suhu rendah. Hal ini akan membantu mencegah pembusukan, yang mungkin terjadi jika diproduksi pada suhu kamar.

Pengaruh stres suhu rendah pada ekspresi gen: respon kejutan dingin

Penemuan awal dari respon syok dingin pada *E. coli* dan menggambarkan respon tersebut sebagai pola ekspresi gen yang spesifik dalam menanggapi perubahan mendadak ke suhu yang lebih rendah. Pola ini sekarang diketahui mencakup pemasukan protein kejutan dingin, sintesis protein lanjutan yang terlibat dalam transkripsi dan translasi, dan represi protein kejutan panas. Transkripsi adalah proses di mana RNA pembawa pesan untai tunggal (mRNA) dengan urutan basa yang melengkapi untai cetakan DNA atau RNA disintesis. Translasi adalah proses dimana pesan genetik yang dibawa oleh mRNA mengarahkan sintesis polipeptida dengan bantuan ribosom dan komponen sel lainnya (sintesis protein).

Fungsi respon kejutan dingin tidak diketahui secara pasti, kemungkinan untuk mengatasi blok parsial dalam sintesis protein, proses dimana pesan genetik yang dibawa oleh mRNA mengarahkan

sintesis polipeptida dengan bantuan ribosom dan komponen sel lainnya (translasi), sehingga meningkatkan kapasitas translasi sel dan sebaliknya. Protein kejut dingin mengikat RNA selama transkripsi dan memfasilitasi inisiasi terjemahan. Adaptasi respon kejut dingin *E. coli* menggunakan pendekatan proteomik, yang menunjukkan perubahan dalam ekspresi protein yang dihasilkan dari adaptasi dingin.

Dalam kisaran suhu normal, 20°C hingga 37°C, tingkat protein tidak bervariasi untuk *E. coli*, dan setiap perubahan suhu dalam kisaran ini menghasilkan tingkat pertumbuhan karakteristik yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi seluler serupa dalam kisaran pertumbuhan *E. coli* ini. Ketika perubahan suhu dari kisaran normal ke suhu di bawah 20°C terjadi, perubahan fisiologi sel diamati. Komposisi biokimia dari sel-sel pada kisaran suhu yang lebih rendah mungkin sangat berbeda dari komposisi pada kisaran suhu normal. Respon kejut dingin ini terjadi ketika *E. coli* yang tumbuh pada 37°C dipindahkan ke 10°C, dan mencapai induksi maksimumnya setelah 3 jam; tetapi setelah 4 jam, sintesis protein dan pertumbuhan dilanjutkan menghasilkan fase lag pertumbuhan selama 4 jam. Dalam studi ini, respon kejutan dingin terjadi dengan setiap penurunan suhu 13 ° C; Namun, semakin besar besarnya penurunan suhu, semakin besar efeknya.

Diketahui bahwa bahan kimia seperti kloramfenikol dan tetrasiklin, yang mempengaruhi ribosom bakteri, juga menghasilkan induksi respon kejutan dingin. Singkatnya, respons kejut dingin adalah pola spesifik ekspresi gen sebagai respons terhadap perubahan drastis ke suhu yang lebih rendah. Salah satu efek penurunan suhu adalah untuk memblokir inisiasi sintesis protein. Protein kejutan dingin dapat menstabilkan mRNA dan memulai kembali produksi protein. Lainnya juga terkait untuk menjaga fluiditas membran seperti desaturase yang dapat diinduksi.

Modifikasi komposisi membran lipid dengan penurunan suhu jelas merupakan adaptasi penting dalam beberapa mikroorganisme, yang memungkinkan mereka tumbuh pada suhu rendah. Mikroorganisme lain menunjukkan tidak perlu mengubah komposisi membran asam lemak karena bukan faktor utama dalam menentukan suhu pertumbuhan minimum, tetapi berfungsi sebagai fungsi adaptif yang penting, yang

menawarkan keuntungan selektif. Dengan penurunan suhu yang tiba-tiba, *E. coli* dan organisme lain telah terbukti menginduksi pola ekspresi gen tertentu, yang mungkin diperlukan untuk adaptasi optimal pada suhu rendah. Pada *E. coli*, penurunan suhu tampaknya mempengaruhi aktivitas ribosom dan perubahan fisiologis lainnya, yang mengarah pada sintesis preferensial dari protein yang terlibat dalam berbagai fungsi seluler dari *supercoiling* DNA hingga inisiasi translasi. Respon stres semacam itu dapat memainkan peran penting untuk kelangsungan hidup organisme dalam produk tertentu dan dengan demikian dapat mempengaruhi masa simpan suatu produk.

Informasi tentang respon stres setelah penurunan suhu akan membantu industri makanan untuk memahami bagaimana organisme dapat mengkontaminasi produk mereka dan sejauh mana respon stres dapat dipengaruhi oleh suhu pra-penyimpanan. Perlakuan kejut dingin yang berbeda sebelum pembekuan atau pendinginan dapat menghasilkan perbedaan dalam kelangsungan hidup dan pertumbuhan mikroba. Hal ini dapat menghasilkan kelangsungan hidup yang lebih tinggi dan tingkat pertumbuhan mikroorganisme dalam produk dingin dan beku suhu rendah yang menghasilkan waktu jeda yang lebih pendek dan dengan demikian umur simpan yang lebih pendek. Pemahaman yang lebih besar tentang mekanisme adaptasi dingin memungkinkan pengembangan metode untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme psikotrofik dalam makanan dingin dan beku.

Dengan demikian, penggunaan suhu rendah untuk penyimpanan produk pangan sangat penting dilakukan untuk memperpanjang masa simpan. Walau demikian tetap mempertimbangkan waktu yang digunakan, karena beberapa mikroorganisme tertentu masih sanggup tumbuh dan berkembang pada suhu tersebut.

Menghindari kontaminasi silang pada penyimpanan suhu rendah

Penyimpanan suhu rendah menjadi tempat penyimpanan segala jenis makanan, baik bahan baku maupun makanan siap santap. Namun, ada hal yang harus perhatikan, karena ada golongan jenis mikroba yang

tetap dapat tumbuh pada suhu rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan ketepatan dalam mengatur suhu penyimpanan makanan sesuai dengan karakteristik makanan. Pengaruh suhu pada pertumbuhan dan viabilitas mikroba adalah penting dalam mengurangi kebusukan makanan, meningkatkan keamanan dari patogen dan pada bioproses makanan. Suhu pertumbuhan juga efektif digunakan di laboratorium untuk menghitung dan mengisolasi mikroorganisme pangan.

Tabel 3. Kejadian Penemuan Patogen Pangan pada Sampel Makanan Sisa Skala Rumah Tangga

Jenis makanan sisa yang telah dimasak	Insiden Patogen	Angka Lempeng Total	Nilai Log
Kari pisang mentah	Jumlah koloni total	$3,42x10^4$ CFU/g	2,53
Sayur mayur	ND		
Kari Bayam	ND	-	
Kari Telur	Jumlah koloni total	$3,15x10^4$ CFU/g	2,49
Kari Bayam	Jumlah koloni total	$1,5x10^3$ CFU/g	1,17
	Koliform feses	$1x10^2$ CFU/g	0
	E.coli	$1x10^2$ CFU/g	0
Sayuran Briyani	*E.coli*	$2x10^3$ CFU/g	1,30
Kari Capsicum masala	Koliform feses	$2,5x10^3$ CFU/g	1,39
	E.coli	$9x10^2$ CFU/g	0,95
	Koliform feses	$5x10^2$ CFU/g	1,69
Kari Brinjal	ND	-	
Alu chana goreng	Jumlah koloni total	$3,18x10^4$ CFU/g	2,50
Ikan (kering) goreng	Jumlah koloni total	$2,12x10^4$ CFU/g	2,32
Ikan goreng	Jumlah koloni total	$3,22x10^4$ CFU/g	2,50
	S. aureus	$3,23x10^4$ CFU/g	2,50
Telur ikan goreng	ND	-	

Manisan suji	Jumlah koloni total	2x10^4 CFU/g	2,30
Bit goreng	Jumlah koloni total	3x10^3 CFU/g	1,47

(Sumber: Yella et al., 2016)

Banyak buah dan sayuran segar disimpan pada suhu antara 10°C dan 20°C atau lebih rendah, dengan tujuan utama untuk mengurangi laju metabolisme. Mikroorganisme yang rentan terhadap produk ini, yaitu ragi dan jamur (dan beberapa bakteri), dapat tumbuh pada suhu ini. Menjaga kelembapan relatif di permukaan makanan sangat penting untuk mengurangi pertumbuhannya. Produk yang sangat mudah rusak umumnya disimpan pada suhu rendah, di bawah 7°C, sering kali dikombinasikan dengan metode pengawetan lainnya, seperti pengemasan vakum atau dengan metode pengemasan dengan modifikasi atmosfer (*Modified Atmosphere Packaging*/ MAP). Berikut ini merupakan beberapa metode suhu pendinginan untuk pencegahan kontaminasi silang mikroba.

Pendinginan dengan Es

Metode ini biasa digunakan pada supermarket yang menyimpan makanan di atas es batu yang dicacah dan dipadatkan; permukaan yang bersentuhan dengan es bisa mencapai suhu antara 0 - 1°C. Ikan segar, makanan laut, daging, buah potong, salad sayuran, berbagai jenis salad siap saji, saus salad, makanan yang dimasak dengan kemasan *sous vide*, dan beberapa makanan tradisional (misalnya tahu) disimpan dengan metode ini. Fluktuasi suhu (akibat ukuran wadah atau mencairnya es), lama penyimpanan (segar atau beberapa hari), dan kontaminasi silang (ikan mentah, udang, tiram, dan salad ikan siap saji dalam wadah terbuka) dalam etalase yang sama dapat menyebabkan masalah mikrobiologis, terutama dari bakteri patogen bawaan makanan. Sehingga perlu disiapkan tempat/ area khusus untuk masing - masing produk.

Pendinginan di Lemari Es

Spesifikasi suhu untuk pendinginan makanan telah berubah seiring waktu. Sebelumnya, 7°C dianggap sebagai suhu yang cukup untuk

penyimpanan. Namun, seiring meningkatnya teknologi, unit pendingin skala rumah tangga mampu berada pada suhu 4 – 5°C. Untuk produk yang mudah rusak, suhu ≤4,4°C dianggap sebagai suhu pendinginan yang tepat. Proses pengolahan makanan komersial dapat menggunakan suhu serendah ~ 1°C untuk mendinginkan makanan yang mudah rusak (seperti daging dan ikan segar). Untuk pendinginan yang optimal, maka kondisi suhu dan kelembapan relatif dipastikan tetap rendah, serta jarak yang tepat antara produk perlu dikontrol dengan baik. Untuk produk beku yang diharapkan memiliki umur simpan yang lama, metode pengawetan tambahan digabungkan dengan suhu serendah mungkin yang dapat digunakan (mendekati –1°C). Namun, hampir dipastikan setiap produk pangan tidak mungkin steril sehingga populasi mikroba awal tetaplah ada (misalnya, ≤10 sel atau spora per 10 g). Dengan adanya mikroba yang tersimpan di setiap produk pangan akan menjadi potensi bahaya patogen ataupun pembusukan. Sehingga mengurangi keamanan dan stabilitas produk. Setiap fluktuasi suhu atau adanya kerusakan pada pengemasan (misalnya, kebocoran dalam ruang hampa atau kemasan atmosfer yang dimodifikasi atau perembesan oksigen melalui bahan pengemas) dapat sangat mempercepat pertumbuhannya.

Pembekuan

Suhu minimum yang digunakan dalam freezer rumah (di lemari es) adalah –20°C, suhu di mana sebagian besar air bebas dalam makanan tetap dalam keadaan membeku. Es kering (–78°C) dan nitrogen cair (–196°C) juga dapat digunakan untuk pembekuan. Pembekuan cepat (pembekuan instan) ini biasanya tidak hanya untuk membekukan makanan saja. Setelah pembekuan, suhu makanan dipertahankan sekitar –20°C hingga –30°C. Tergantung pada jenisnya, makanan dapat disimpan dalam freezer selama berbulan-bulan atau bahkan lebih dari setahun. Banyak produk mentah (sayur mayur, buah - buahan), daging, ikan, produk olahan, dan produk matang (siap makan) diawetkan dengan cara dibekukan. Mikroorganisme tidak bisa tumbuh pada suhu -20°C dalam makanan beku. Sebaliknya, sel mikroba mati selama penyimpanan beku. Namun, yang selamat masih bisa berkembang biak di makanan yang sudah dicairkan (*thawing*). Proses pencairan makanan beku yang terlalu

cepat dapat menyebabkan pertumbuhan dan perkecambahan spora bakteri, namun tetap bergantung pada suhu dan waktu setelah pencairan. Enzim yang dilepaskan oleh sel mikroba yang mati pun dapat menurunkan kualitas penerimaan makanan.

PETUNJUK UMUM PENYIMPANAN SUHU RENDAH



Sering kita dapati pada skala rumah tangga, konsumen membeli bahan pangan dalam jumlah relatif banyak untuk persedian konsumsi beberapa hari. Sebagian besar bahan pangan tersebut biasanya disimpan didalam lemari pendingin (kulkas). Masalahnya, tidak semua bahan pangan segar maupun pangan olahan bisa disimpan dalam kulkas untuk waktu yang lama. Perlu dipahami bahwa kulkas bukanlah mesin pengawet

ajaib yang bisa mengawetkan semua bahan pangan. Kulkas memiliki beberapa keterbatasan dan aturan dalam menjaga mutu dan keamanan pangan. Suhu pada lemari pendingin hanya berkisar 5°C atau lebih rendah, sedangkan suhu dalam *freezer* sekitar -18 °C. Disisi lain setiap bahan pangan memiliki karakteristik sifat fisik, kimia dan termal yang berbeda. Hal ini tentu akan memunculkan suhu penyimpanan optimum yang sangat bervariasi. Dengan demikian, penting untuk bisa menata pangan dengan tepat sesuai sifat termalnya.

Suhu Optimum Penyimpanan

Tidak semua bahan pangan bisa disimpan pada suhu dan ruang penyimpanan yang sama. Jika bahan pangan disimpan pada suhu di bawah suhu optimumnya maka bahan pangan tersebut akan mengalami *chilling injury* (kerusakan akibat pendinginan) atau *freezing injury* (kerusakan akibat pembekuan). Ciri umum terjadinya *chilling injury* adalah adanya perubahan tekstur, perubahan warna atau timbulnya bercak coklat atau hitam pada permukaan. Disisi lain jika bahan pangan disimpan pada suhu di atas suhu optimumnya maka laju penurunan mutu akan lebih cepat terjadi dan menyebabkan umur simpan bahan pangan menjadi lebih singkat. Penyimpanan pada suhu optimum akan mampu mempertahankan mutu pangan lebih lama dan meminimalisir terjadinya kerusakan akibat suhu penyimpanan.

Perbedaan suhu optimum dalam penyimpanan bahan pangan membuat desain umum refrigerator terbagi dalam empat zona suhu penyimpanan. Pertama adalah zona *freezer* yaitu pada suhu -18°C. Zona kedua adalah zona penyimpanan daging, yaitu suhu 0°C. Zona ketiga adalah zona refrigerator, yaitu pada suhu 5°C. Zona keempat adalah zona sayur, yaitu 10°C. Suhu yang tertera pada kulkas bukanlah suhu aktual dalam kulkas, namun suhu tersebut adalah suhu target penyimpanan. Suhu aktual dalam kulkas sangat dipengaruhi jenis dan jumlah bahan pangan dalam kulkas.

Beberapa contoh perbedaan suhu optimum penyimpanan berbagai jenis bahan pangan dijelaskan sebagaimana berikut:

1. Penyimpanan Daging

Pertama tama pastikan daging yang akan disimpan adalah daging segar. Secara umum daging dapat bertahan hingga tujuh hari lamanya pada suhu -1^{0}C di atas titik beku daging -2^{0}C. Jika terdapat jenis daging yang berbeda dalam satu ruang penyimpanan, pastikan setiap jenis daging berada dalam kemasan yang berbeda dan tertutup rapat. Bahkan daging ayam bisa disimpan selama 1 tahun ketika disimpan pada suhu -17 ^{0}C.

2. Penyimpanan Ikan dan *Seafood*

Ikan merupakan bahan pangan yang cepat mengalami penurunan mutu dan kerusakan. Selain itu, beberapa jenis ikan juga memiliki aroma yang kuat. Agar kulkas tidak berbau ikan maka pastikan agar ikan berada dalam kemasan yang tertutup rapat. Untuk penyimpanan jangka pendek (tidak lebih dari 2 hari), maka ikan, udang, dan kepiting bisa disimpan dalam refrigerator yang mendekati suhu 0^0C. Untuk penyimpanan dalam waktu lama, sebaiknya ikan atau udang disimpan dalam freezer pada suhu -17^0C. Ikan beku yang telah dikeluarkan dari lemari es dan telah dicuci dengan air bersih pastikan untuk segera dimasak seluruhnya. Jangan pernah membekukan kembali sisa ikan yang telah dicuci. Hal ini untuk mencegah terjadinya pembusukan dan keracunan.

3. Penyimpanan Telur, Susu dan Produk Turunannya

Susu dan telur merupakan bahan pangan yang tinggi kandungan protein. Suhu penyimpanan yang tepat untuk kedua bahan pangan ini adalah pada rentang 4 – 10 ^{0}C. Pada suhu ini mikroorganisme akan berhenti berkembang biak. Untuk penyimpanan telur, jika cangkang telur terlihat kotor maka sebaiknya dilakukan pencucian dengan air hangat (dengan cara mengelap cangkang telur dengan kain bersih yang telah dicelup dalam air hangat). Pencucian dilakukan untuk mencegah masukknya mikroorganisme dalam telur dan mencegah terjadinya kontaminasi dengan bahan pangan lainya. Setelah kering, telur bisa diletakkan dalam lemari es dalam kemasan karton. Kemasan karton akan mencegah penyerapan aroma lain dari bahan pangan kedalam cangkang telur. Untuk produk turunan susu seperti keju sebaiknya disimpan pada suhu penyimpanan sekitar 4^0C dalam kemasan yang tertutup rapat. Untuk *ice cream* harus disimpan dalam *freezer* dengan temperarur optimum penyimpanan -17^0C.

4. Penyimpanan Buah dan Sayur

Pilih buah dan sayur segar yang akan disimpan dalam lemari es dan dalam keadaan telah dicuci bersih dengan menggunakan air dingin. Untuk pencucian akan lebih baik jika menggunakan air yang mengalir. Pisahkan buah yang telah matang dari buah yang belum matang. Akan lebih baik jika buah yang telah matang untuk segera dikonsumsi. Meskipun setiap jenis

buah maupun sayur memiliki suhu penyimpanan optimum yang berbeda beda, namun secara umum suhu penyimpanan buah dan sayur adalah diantara 4 – 7 ^{0}C. Untuk memperpanjang masa simpan, sebaiknya ruang penyimpanan dipertahankan pada humiditas 90 -100%. Hal ini karena buah dan sayur memiliki kadar air yang tinggi. Untuk sayuran dari umbi - umbian seperti kentang, ubi jalar, bawang - bawangan sebaiknya disimpan pada suhu 10 - 15 ^{0}C dalam kemasan yang memiliki ventilasi udara.

5. Penyimpanan Makanan Yang Telah Dimasak dan Makanan atau Minuman Dalam Kemasan Kaleng atau Botol

Untuk menyimpan makanan yang telah dimasak pastikan makanan tersebut berada dalam kemasan tertutup. Sedangkan makanan atau minuman yang disimpan pada kaleng atau botol jangan disimpan dalam *freezer*. Hal ini akan menyebabkan cairan dalam kemasan akan membeku, volumenya akan bertambah. Jika volume pemuaian melebihi kapasitas maka kemasan akan pecah. Untuk buah dalam kaleng sebaiknya disimpan pada suhu 10 - 21 ^{0}C. Untuk sayuran beku letakkan pada *freezer*.

Bagaimana Mengatur Tata Letak Pada Kulkas?

Pengaturan tata letak kulkas penting kaitanya dengan umur simpan, keamanan pangan, dan kemudahan dalam mengakses isi dalam kulkas tersebut. Terdapat berbagai macam desain kulkas. Secara umum bagian atas kulkas adalah bagian yang paling dingin dan semakin kebawah semakin berkurang suhunya. Sedangkan bagian yang berada di pintu adalah bagian yang paling hangat dibandingkan bagian yang lain. Menyadari variasi suhu para ruang kulkas anda tentu harus dimanfaatkan untuk dapat meletakkan bahan pangan sesuai suhu optimum penyimpanan dan karakteristik ketahanan termal bahan pangan.

Sebelum mengatur tata letak bahan pangan pada kulkas sebaiknya pisahkan tiap jenis bahan pangan dalam kemasan yang berbeda. Kemasan akan mencegah pangan tercecer, tumpah, mengalami kontaminasi silang dan terjadinya *evaporative cooling* (penguapan akibat pendinginan). Akan lebih baik jika kemasan dibuat tidak terlalu besar, sehingga menghindari buka dan tutup kemasan jika bahan pangan tidak langsung habis

dikonsumsi. Membuka dan menutup kemasan akan membuat bahan pangan kontak dengan udara luar. Kondisi tersebut bisa menyebabkan penurunan mutu lebih cepat terjadi. Selain itu, penting untuk memberi label pada tiap kemasan. Label bisa berisi informasi nama bahan, tanggal pembelian atau tanggal *expired date.*

Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan ketika menyimpan bahan pangan dalam kulkas adalah mutu dan kemanan pangan (pastikan hanya menyimpan pangan yang masih bermutu tinggi sehingga meminimalisir adanya kontaminasi silang antar bahan pangan), suhu (letakkan bahan pangan sesuai dengan suhu optimal penyimpananya), humiditas (humiditas rendah menyebabkan bahan pangan dalam kulkas menjadi kering) dan karakteristik sifat kimia pangan (seperti kandungan etilen). Aturan tata letak pangan pada kulkas sesuai dengan kemampuan produksi etilen dan sensitifitas terhadap gas dapat dilihat pada Tabel 4. Warna hijau menunjukkan bahwa pangan dapat disimpan dalam kombinasi dengan kategori warna apapun, warna pink menunjukkan agar pangan jangan disimpan dengan warna orange dan kuning dan warna orange menunjukkan bahwa pangan akan mempercepat pematangan saat disimpan dengan warna orange dan kuning

Tabel 4. Buah dan Sayur yang Memproduksi Etilen dan Sensitif Terhadap Gas

Sensitif pada etilen / Produksi etilen	Tinggi	Media	Rendah
Tinggi	Apel, kiwi, pir	Alpukat, melon, markisa	
Media	Aprikot, pisang, manga	Nektarin, papaya, persik, *plum,* tomat	

Rendah	Bermacam-macam jenis kubis, wortel, mentimun, selada, kentang	Asparagus, seledri, jeruk, terong	Arthicoke, beri, ceri, anggur, nanas, paprika

(sumber: Wieke van der Vossen dan Corné van Dooren, 2016)

Terdapat beberapa makanan yang sebaiknya tidak disimpan dalam kondisi beku. Jika pangan tersebut disimpan dalam kondisi beku maka pangan akan menjadi rusak. Sebagai contoh:

1. Telur rebus - putih telur akan menjadi keras dan sangat kenyal seperti karet
2. Mayonnaise dan salad dressing – akan terjadi pemisahan fase
3. Salad sayur – kerenyahan akan hilang dan menyebabkan *off flavor*
4. *Cream pie filling* dan *custard* - akan terjadi pemisahan fase dan menjadi berair
5. Kentang segar – akan menjadi lebih gelap dan terjadi perubahan tekstur
6. Bawang putih dan bawang merah segar – akan memunculkan aroma yang kuat

Batas Waktu Penyimpanan

Semua bahan pangan baik pangan segar maupun pangan olahan memiliki batas waktu penyimpanan. Sebagian konsumen, membeli pangan segar maupun olahan untuk langsung dikonsumsi, namun ada juga untuk persediaan, ada juga yang melakukan pembelian untuk dijual kembali. Untuk itu, nilai umur simpan menjadi sangat penting karena bisa digunakan sebagai petunjuk bagi konsumen seberapa lama produk tersebut dapat disimpan sebelum produk mengalami penurunan mutu. Tiap jenis pangan memiliki rentang umur simpan yang berbeda beda, terhitung sejak produk selesai diproduksi dan siap untuk dipasarkan.

Meskipun industri pengolahan pangan telah menerapkan sistem jaminan mutu pangan yang baik, namun semua pihak yang terlibat

dari proses produksi, distribusi hingga konsumsi memiliki peran dan pengaruh dalam mempertahankan umur simpan. Setelah produk pangan diluncurkan oleh produsen, maka nilai umur simpan akan dipengaruhi oleh pihak diluar produsen. Umur simpan pangan yang sudah ditampilkan pada kemasan bisa saja mengalami perubahan karena kondisi lingkungan atau penanganan yang kurang tepat yang berakibat pada terjadinya penurunan mutu, kerusakan pangan atau bahkan terjadinya kontaminasi.

Panjangnya umur simpan dipengaruhi beberapa faktor, yaitu: karakteristik pangan segar, jenis komposisi bahan baku pembuatan (untuk pangan olahan), proses penanganan dan pengolahan selama produksi, jenis kemasan dan bagaimana produk tersebut disimpan. Secara umum, terdapat tiga pilihan ruang penyimpanan bahan pangan. Penyimpanan pangan segar maupun pangan olahan bisa dilakukan pada suhu ruang, ruang refrigerator atau dalam *freezer*. Rekomendasi ruang penyimpanan dan waktu maksimal penyimpanan berbagai jenis pangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Ruang Penyimpanan dan Estimasi Waktu Penyimpanan Berbagai Jenis Pangan

Makanan	***Pantry*** (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Roti dan Produk Sereal			
Roti yang dipanggang cepat	4-5 hari	1-2 minggu	2-3 bulan
Roti	5-7 hari	1-2 minggu	2-3 bulan
Remah roti dan *croutons*	6 bulan		
Roti gulung, tanpa dipanggang		2-3 minggu	1 bulan
Sereal, siap santap	1 tahun		
	2-3 bulan*		

Sereal, siap masak	6 bulan		
Tepung jagung	1 tahun	18 bulan	2 tahun
Donat	4-5 hari		3 bulan
Tepung, serbaguna, putih	6-8 bulan	1 tahun	1-2 tahun
Tepung, gandum utuh		6-8 bulan	1-2 tahun
Pasta	2 tahun		
Pai dan kue kering		3 hari	4-6 bulan
Pai dan kue kering, panggang			1-2 bulan
Pai dan kue kering, isi krim		2-3 hari	3 bulan
Pizza		3-4 hari	1-2 bulan
Beras, beras pecah kulit	6 bulan		
Beras, putih	1 tahun	6-7 hari^{+}	6 bulan^{+}
Taco, enchilada, dan burrito (beku)		2 minggu	1 tahun
Wafel		4-5 hari	1 bulan

	Pantry (Suhu ruang)	Lemari Pendingin (0.5°C - 4.4°C)	*Freezer* (<0°C)
Makanan Kemasan dan Campuran			
Campuran biskuit, brownies, dan muffin	9 bulan		

Cabai bubuk	6 bulan		
Kukis, dikemas	2 bulan		8-12 bulan
Cracker, pretzel	3 bulan		
Makanan beku, kaleng	3 bulan		
Kue buah		2-3 bulan	1 tahun
Produk sarapan instan	6 bulan		
Pancake dan campuran *piecrust*	6 bulan		
Adonan wafel *pancake*		1-2 hari	3 bulan
Kue kering yang dipanggang	3 bulan		
Saus dan campuran saus	6 bulan		
Campuran sup	1 tahun		
	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Rempah-rempah, Bumbu, dll			
Saus tomat, cabai, dan saus koktail	1 tahun		
	1 bulan*	6 bulan	
Rempah-rempah	6 bulan		1-2 tahun
Rempah/campuran bumbu	2 tahun		1-2 tahun

	1 tahun*		
Mustard	2 tahun	6-8 bulan*	8-12 bulan
Bumbu, halus	6 bulan		1-2 tahun
Bumbu, utuh	1-2 tahun		2-3 tahun
Ekstrak vanila	2 tahun		
	1 tahun*		
Ekstrak lainnya	1 tahun		

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Makanan Pokok Lainnya			
Baking powder	18 bulan		
Baking soda	2 tahun		
Produk kaldu	1 tahun		
Minuman ringan berkarbonasi (12 oz.kaleng)	6-9 bulan		
Minuman ringan berkarbonasi, diet (12 oz.kaleng)	3-4 bulan		
Coklat, sirup	2 tahun	6 bulan*	
Coklat, agak manis	2 tahun		
Coklat, tidak manis	18 bulan		

Campuran kakao	8 bulan		
Kopi kaleng	2 tahun		
	2 minggu*	2 bulan	6 bulan
Kopi, instan	6 bulan		
	2 minggu*		
Kopi, kemasan vakum	1 tahun^		
Coffee lightener (bubuk)	9 bulan		1 tahun
	6 bulan*		
Pati jagung	18 bulan		2 tahun
Gelatin	18 bulan		
Madu, selai, *jelly*, dan sirup	1 tahun	6-8 bulan*	
Marshmallow	2-3 bulan		
Krim *marshmallow*	3-4 bulan		
Mayonnaise	2-3 bulan	12 bulan	
		2 bulan*	
Molase	2 tahun		
Kacang, dikupas	4 bulan	6 bulan	
Kacang, tanpa dikupas	6 bulan		

Kacang, asin			6-8 bulan
Kacang, tanpa garam			9-12 bulan
Minyak, salad	3 bulan^		
	2 bulan*		
Keju parut parmesan	10 bulan		
	2 bulan*		
Olesan keju pasteurisasi olahan	3 bulan	3-4 minggu*	4 bulan
Selai kacang	6-9 bulan	4-6 bulan	
	2-3 bulan*		
Popcorn	1-2 tahun	2 tahun	2-3 tahun
Pektin	1 tahun		
Salad dressing, botol	1 tahun^	3 bulan*	
Minuman ringan	3 bulan		
Pemanis artifisial	2 tahun		
Gulan, coklat	4 bulan		
Gula, kembang gula	18 bulan		
Gula, granula	2 tahun		
The celup	18 bulan		

Teh, instan	2 tahun		
Minyak sayur	6 bulan		
	1-3 bulan*		
VegeTabel shortening	3 bulan	6-9 bulan	
Vinegar	2 tahun		
	1 tahun*		
Air, botol	1-2 tahun		
Ragi, bubuk	Tanggal kadaluarsa pada kemasan		

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Sayuran			
Asparagus		2-3 hari	8 bulan
Bit		2 minggu	
Brokoli		3-5 hari	
Kubis brussel		3-5 hari	
Kubis		1 minggu	
Wortel		2 minggu	
Kembang kol		1 minggu	

Seledri		1 minggu	
Jagung		1-2 hari	8 bulan
Mentimun		1 minggu	
Terung		1 minggu	
Buncis		1-2 hari	8 bulan
Kacang polong		3-5 hari	8 bulan
Selada		1 minggu	
Kacang Lima		3-5 hari	8 bulan
Jamur		2 hari	
Bawang	1 minggu	3-5 hari	
Onion rings (sudah dimasak sebelumnya, beku)			1 tahun
Lada		1 minggu	
Acar, kaleng	1 tahun	1 bulan*	
Kentang beku			8 bulan
Kentang manis	2-3 minggu		
Kentang putih	2-3 bulan		
Keripik kentang	1 bulan		

Lobak		2 minggu	
Bayam		5-7 hari	8 bulan
Labu, *Summer*		3-5 hari	
Labu, *Winter*	1 minggu		
Tomat		1 minggu	
Lobak		2 minggu	
Makanan bayi komersial, jar	1-2 tahun^	2-3 hari	
Sayuran kaleng	1 tahun^	3-5 hari*	
Sayuran kaleng, acar	1 tahun^	1-2 bulan*	
Sayuran kering	6 bulan		
Sayuran beku			8 bulan

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Buah buahan			
Apel	Hingga matang	1 bulan	
Aprikot	Hingga matang	5 hari	
Alpukat	Hingga matang	5 hari	
Pisang	Hingga matang	5 hari (matang seutuhnya)	
Beri	Hingga matang	3 hari	1 tahun

Buah kaleng	1 tahun	2-4 hari*	
Jus buah kaleng	1 tahun	3-5 hari*	
Ceri	Hingga matang	3 hari	
Buah sitrus	Hingga matang	2 minggu	
Buah kering	6 bulan	2-4 hari+	
Buah beku			1 tahun
Konsentrat jus buah		6 hari	1 tahun
Anggur	Hingga matang	5 hari	
Melon	Hingga matang	5 hari	
Nektarin	Hingga matang	5 hari	
Persik	Hingga matang	5 hari	1 tahun
Pir	Hingga matang	5 hari	1 tahun
Nanas	Hingga matang	5-7 hari	1 tahun
Plum	Hingga matang	5 hari	
	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Produk Susu dan Turunannya			
Mentega		1-2 bulan	9 bulan
Dadih		2 minggu	

Keju *cottage*		1 minggu	3 bulan
Krim keju		2 minggu	
Cream-light, heavy, half- and half		3-4 hari	1-4 bulan
Margarin		4-5 bulan	12 bulan
Susu kental, evaporasi, dan bubuk	12-23 bulan^	8-20 hari*	
Susu		8-20 hari	3 bulan
Es krim dan serbat			2 bulan
Keju keras alami (mis. cheddar, swiss)		3-6 bulan	6 bulan
		3-4 minggu*	
Keju olahan		3-4 minggu	6-8 bulan
Keju lunak (mis. brie)		1 minggu	6 bulan
Puding		1-2 hari*	
Whipped cream asli, kaleng		3-4 minggu	
Yogurt		2 minggu	1-2 bulan

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Daging			
Steak daging sapi segar		3-5 hari	6-9 bulan

Steak daging sapi panggang		3-5 hari	9-12 bulan
Potongan daging domba segar		3-5 hari	6-8 bulan
Daging sapi muda segar		1-2 hari	4-6 bulan
Daging giling segar		1-2 hari	3-4 bulan
Daging masak		2-3 hari	2-3 bulan
Daging kaleng	1 tahun	3-4 hari*	3-4 bulan
		3-5 hari*	3-4 bulan
Shelf-sTabel unopened canned meat (daging kornet)	1 tahun	1 minggu*	
Kornet daging sapi, tanpa dimasak		5-7 hari	1-2 bulan
Restructured (flaked) meat products			9-12 bulan
Sosis, segar		1-2 hari	1-2 bulan
Sosis, diasap (mis. *Mettwurst*)		1 minggu	1-2 bulan
Sosis, semi-kering (mis. sosis *Summer*)		2-3 minggu*	6 bulan
Sosis, diasap kering (mis. Pepperoni, dendeng, Salami kering)	1 tahun	1 bulan	6 bulan
Frankfurters, bologna		2 minggu	1-2 bulan
		3-7 hari*	

Daging *Luncheon*		2 minggu	1-2 bulan
		3-7 hari*	
Kuah daging		1-2 hari	2-3 bulan
TV beef and pork dinners			18 bulan#
Casserol berbahan dasar daging		3-4 hari	4 bulan
Berbagai daging (jeroan, lidah, hati, jantung, dll)		1-2 hari	3-4 bulan

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Ikan			
Ikan dilapisi tepung roti			4-6 bulan
Ikan kaleng	1 tahun	1-2 hari*	
Ikan atau *seafood* masak		3-4 hari	3 bulan
Ikan tanpa lemak (mis. kod, *flounder, haddock*)		1-2 hari	6-10 bulan
Ikan berlemak (mis. *bluefish,* salmon, mackeral)		1-2 hari	2-3 bulan
Acar ikan kering		3-4 minggu	
Ikan asap		2 minggu	4-5 minggu
Kerang laut, kepiting, lobster dalam cangkang		2 hari	3 bulan

Tiram dan kerang kipas-kipas		4-5 hari	3-4 bulan
Seafood-udang		4-5 hari	3 bulan
Seafood-kerang yang dikupas		4-5 hari	3 bulan
Salad tuna, *store prepared* atau buatan rumah		3-5 hari	

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Unggas			
Nugget atau patty ayam		1-2 hari	
Hati ayam		1-2 hari	3 bulan
Chicken and poultry TV dinners			6 bulan
Unggas kaleng^	2-5 tahun	3-4 hari*	4-6 minggu
Unggas masak		2-3 hari	4-6 bulan
Unggas segar		1-2 hari	1 tahun
Unggas beku		1-2 hari	6-9 bulan
Unggas kaleng		1 hari	3 bulan

	Pantry (Suhu ruang)	**Lemari Pendingin** (0.5°C - 4.4°C)	***Freezer*** (<0°C)
Telur			
Telur, dalam cangkang		3-5 minggu	

Telur, rebus	1 minggu	
Telur, pasteurisasi, cair	10 hari 3 hari*	1 tahun

*Dibuka +Dimasak ^Didinginkan setelah dibuka #Setelah tanggal pembuatan

(Sumber: Boyer dan McKinney, 2013)

Bagaimana Jika Tiba Tiba Refrigerator atau Freezer Kehilangan Daya?

Kunci dari penyimpanan rendah adalah mempertahankan pangan agar tetap berada pada suhu rendahnya. Bagimana jika tiba-tiba terjadi mati listrik, apa yang sebaiknya segera dilakukan? Pertama jangan buka refrigerator atau freezer sebelum ada rencana. Refrigerator umumnya dilengkapi dengan insulator, sehingga suhu masih bisa dipertahankan dalam beberapa waktu setelah kehilangan daya. Kurangi aktifitas membuka dan menutup refrigerator. Pastikan untuk mengetahui kondisi dan isi dalam refrigerator atau freezer. Untuk bahan pangan dalam freezer, bahan pangan akan tetap membeku maksimal 2 hari, dengan syarat pangan berada dalam kemasan tertutup rapat tanpa ruang tersisa. Jika pangan berada dalam kemasan yang tidak terisi penuh, maka pangan tidak akan mampu bertahan lebih dari satu hari.

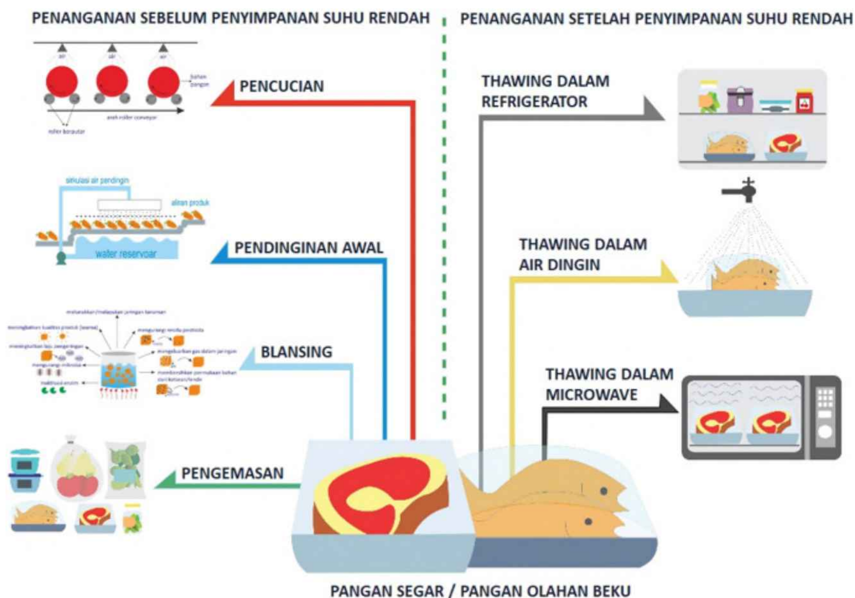
Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan untuk mengantisipasi jika peralatan penyimpan suhu rendah mengalami kehilangan daya. Pertama, usahakan untuk menyetel suhu refrigerator pada suhu paling tinggi 4°C dan *freezer* pada suhu -18°C atau lebih dingin. Kedua, pastikan untuk selalu menyediakan termometer untuk mengecek suhu refrigerator dan *freezer*. Ketiga, untuk berjaga sediakan kotak pendingin/ *cooler box* yang dilengkapi dengan media pendingan untuk menjaga pangan tetap dingin jika listrik mati lebih dari 4 jam. Keempat, usahakan untuk tidak membuka *freezer*. Kelima, jika pangan telah mengalami *thawing* dan berada pada suhu ruang selama 2 jam atau lebih

harus maka lakukan pengecekan apakah terjadi kerusakan pada pangan sebelum pangan kembali diletakkan dalam ruang pendingin.

Seberapa Sering Kulkas dan *Freezer* Harus Dibersihkan?

Idealnya kulkas dibersihkan bagian dalamnya setiap 10 hari atau 2 minggu, terutama bagian *freezer*. Kebersihan *freezer* dapat selalu dijaga dengan melakukan beberapa hal berikut: 1) Lakukan pengecekan setiap hari dan pastikan penempatan pangan harus rapi dan bersih, 2) Lakukan pengecekan masa kedaluwarsa pangan, maksimal tiap satu bulan, 3) Lakukan pembersihan rutin maksimal satu tahun sekali. Langkah langkah pembersihan bisa dilakukan dengan beberapa tahap. Pertama, matikan daya *freezer*. Kedua, keluarkan isi dan rak-rak dalam *freezer*. Rak rak tersebut bisa bersihkan dengan cara merendam dalam larutan 2 sendok makan baking soda untuk dalam satu liter air hangat. Setelah itu, keringkan rak-rak tersebut dan susun kembali dalam *freezer*. Ketiga, bersihkan bagian dalam *freezer* dengan larutan 2 sendok makan baking soda dalam satu liter air panas. Kemudian bilas dengan kain basah dan keringkan dengan kain/ handuk bersih. Pastikan untuk tidak menggunakan sabun, deterjen atau bahan abrasif untuk membersihkan *freezer*. Sabun atau deterjen bisa menyebabkan timbulnya bau yang akan diserap oleh makanan. Sedangkan penggunaan pembersih abrasif seperti amonia atau pemutih bisa menyebabkan timbulnya goresan, retak, atau menghitamkan permukaan *freezer*.

PENANGANAN SEBELUM DAN SETELAH PENYIMPANAN SUHU RENDAH



Meskipun penyimpanan pangan pada suhu rendah mampu menghambat aktivitas enzim dan mikroorganisme, namun jika pendinginan atau pembekuan tidak dilakukan dengan tepat akan berakibat pada peningkatan resiko kontaminasi mikroorganime dan berbagai perubahan sifat fisik, kimia maupun atribut sensori yang tidak dikehendaki. Penanganan yang tepat pada saat sebelum dan setelah proses penyimpanan suhu rendah seperti: pencucian, pendinginan awal,

blansing, pengemasan dan *thawing* diharapkan mampu meminimalisir terjadinya penurunan mutu pangan dan mengurangi potensi resiko adanya aktivitas mikroorganisme yang membuat pangan menjadi tidak aman untuk dikonsumsi.

Pembersihan

Bahan pangan sebagai bahan baku dalam proses pengolahan pangan atau sebagai bahan pangan segar yang bisa langsung dikonsumsi sebaiknya dicuci terlebih dahulu sebelum diproses lanjut. Proses pencucian dilakukan untuk menghilangkan kontaminan yang berasal dari zat yang berbahaya. Penghilangan kontaminan pada bahan baku sangat penting untuk menghindari terjadinya resiko kontaminan pada produk akhir yang dihasilkan seperti mikroorganisme patogen maupun residu pestisida. Kontaminan tersebut mungkin berasal dari proses penanganan pada saat budidaya (dari air irigasi, pupuk kandang, kontaminasi dari hewan liar atau hewan piaraan, pupuk kimia atau pestisida kimia), penanganan pada saat pemanenan, penanganan pada saat pengangkutan hingga penanganan pada saat penyimpanan sementara.

Secara umum, metode pembersihan dikelompokkan menjadi metode kering dan basah. Pembersihan dengan metode kering bisa dilakukan dengan *screening*/ pengayakan, pembersihan dengan menggunakan udara *(aspiration cleaning)*, pembersihan dengan magnetik, atau pembersihan dengan elektrostatik. Sedangkan pembersihan dengan metode basah dapat dilakukan dengan perendaman, pencucian semprot (*spray washing*), *flotation washing*, pembersihan ultrasonik, atau pembersihan dengan menggunakan ozon. Pemilihan metode pembersihan sangat ditentukan oleh karakteristik bahan pangan yang akan dibersihkan.

Pendinginan Awal

Setelah proses pemanenan, pangan segar seperti buah dan sayur berada pada suhu tinggi. Jika pemanenan tidak selesai dipagi hari dan berlangsung hingga siang, maka suhu pangan segar bisa mencapai suhu 40°C. Pada suhu tersebut kecepatan respirasi menjadi tinggi dan berakibat pada kecepatan penurunan mutu. Untuk mengurangi proses respirasi, sebaiknya dilakukan pendinginan awal *(precooling)* segera setelah pemanenan.

Pre-cooling adalah unit proses yang dilakukan melalui pendinginan cepat dengan tujuan untuk menurunkan suhu buah dan sayur sebelum

masuk suhu penyimpanan lebih lanjut. Semakin cepat suhu bahan turun, maka umur simpan akan semakin lama. Penurunan suhu yang cepat menciptakan kondisi yang tidak menguntungkan untuk pertumbuhan mikroorganisme termofilik dan mesofilik. *Pre-cooling* yang tepat juga dapat mengurangi respirasi bahan, memperlambat laju akumulasi dan konsumsi zat energi pada proses aktivitas jaringan tanaman. Sebagai hasilnya, proses pematangan buah dapat ditunda dan karakteristik sensori seperti tekstur, warna, maupun rasa dapat dipertahankan lebih lama. Proses *pre-cooling* dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya yaitu: *pre-cooling* dengan menggunakan air dingin (*hydro-cooling*), udara dingin (*forced-air cooling*), *room cooling*, *vacuum cooling*, dan *package icing*.

Blansing

Selain pencucian, proses blansing juga umum dilakukan pada buah atau sayur yang akan dibekukan. Blansing adalah perlakuan panas sedang secara cepat dengan suhu berkisar 75 - 95°C dan waktu tertentu berkisar 1 - 15 menit dengan tujuan untuk menginaktivasi enzim - enzim oksidatif penyebab turunnya mutu bahan pangan. Besarnya suhu dan waktu biasanya ditentukan oleh karakteristik produk dan jenis enzim yang akan diinaktivasi. Terdapat beberapa jenis enzim yang bertanggungjawab terhadap perubahan pangan yang tidak diblansing. Enzim *Lipoxydenases, lipases,* dan *proteases* menyebabkan timbulnya *off flavor*. Enzim *pectic* dan *cellulases* menyebabkan perubahan tekstur. Enzim *polyphenol oxidase, chlorophyllase,* dan *peroxidase* menyebabkan perubahan warna. Enzim *ascorbic acid oxidase,* dan *thiaminase* menyebabkan perubahan zat gizi.

Selain untuk inaktivasi enzim, blansing juga memiliki beberapa fungsi diantaranya: mengurangi mikroba dalam bahan, dapat mengurangi residu pestisida, mengeluarkan udara dalam jaringan tanaman sehingga meminimalisir terjadinya reaksi oksidatif, dan membersihkan permukaan bahan.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses blansing, diantaranya adalah jenis dan karakteristik *thermal* bahan pangan, suhu dan waktu blansing, ukuran dan bentuk dari potongan bahan pangan,

pemilihan metode blansing yang disesuaikan dengan karakteristik bahan pangan. Secara umum terdapat empat metode untuk blansing, diantaranya: blansing dengan air panas (*hot water blanching*), blansing dengan uap panas (*steam blanching*), blansing dengan gelombang mikro (*microwave*), dan blansing dengan hambatan listrik (*Ohmic blanching*). Persiapan untuk pembekuan berbagai sayuran dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Persiapan untuk Pembekuan Sayuran

SAYURAN	PERSIAPAN	WAKTU BLANSIR (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
ASPARAGUS (batang lunak muda, ujung yang kompak)	Cuci bersih, urutkan berdasarkan ukuran. Dipotong dengan panjang 2 inci atau sisakan bagian tombaknya. Blansir, dinginkan, dan tiriskan. Bergantian ujung dan batang saat pengemasan	Batang kecil: 2 menit Batang sedang: 3 menit Batang besar: 4 menit
KACANG, *snap*, buncis, atau *wax* (muda empuk, tanpa tali)	Cuci dan hilangkan ujungnya. Biarkan utuh, iris, atau potong menjadi 1-1 ½ inci. Blansir, dinginkan, dan tiriskan	3 menit
BIT (berdiameter 1-2 inci)	Hilangkan bagian atas hingga menyisakan ½ inci batang. Cuci dan sortir berdasarkan ukuran. Masak pada air mendidih hingga empuk. Dinginkan, kupas, dan potong menjadi irisan atau dadu	Masak: Bit kecil: 25-30 menit Bit sedang: 45-50 menit

SAYURAN	PERSIAPAN	WAKTU BLANSIR (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
BROKOLI (bagian kepala yang kompak berwarna hijau tua, batang empuk)	Cuci dan potong. Jika terdapat serangga, rendam dalam larutan 4 sendok teh garam untuk 1 galon air dingin. Belah memanjang menjadi beberapa bagian yang tidak lebih dari 1 ½ inci. Blansir, dinginkan, dan tiriskan	Dalam air: 3 menit Dengan uap: 5 menit
KUBIS BRUSSEL (hijau, bagian kepala padat kompak)	Pastikan tidak terdapat serangga. Potong dan buang bagian daun luar yang kasar. Cuci dan sortir. Blansir, dinginkan, dan tiriskan	Kecil: 3 menit Sedang: 4 menit Besar: 5 menit
KUBIS (untuk masakan yang dimasak) (segar, bagian kepala kompak)	Buang bagian daun luar yang kasar. Potong menjadi potongan media, kasar, irisan tipis atau daun terpisah. Blansir, dinginkan, dan tiriskan	1 ½ menit
WORTEL (empuk, flavor wortel ringan)	Hilangkan bagian atas. Cuci dan kupas. Biarkan wortel kecil tetap utuh. Potong bagian lain menjadi dadu, irisan, atau strip memanjang. Blansir, dinginkan, dan tiriskan	Kecil, utuh : 5 menit Atau Potongan dadu, irisan, dan strip : 2 menit

SAYURAN	PERSIAPAN	WAKTU BLANSIR (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
BUNGA KOL (empuk, padat, bagian kepala berwarna putih salju)	Potong menjadi beberapa bagian sekitar 1 inci. Cuci. Jika terdapat serangga, rendam dalam larutan 4 sendok teh garam untuk 1 galon air dingin. Blansir, dinginkan, dan tiriskan	3 menit
JAGUNG, manis (bulat, biji empuk, sedikit manis seperti susu)	*Husk ear,* hilangkan rambut, dan cuci	
Biji utuh	Blansir, dinginkan, dan tiriskan. Untuk biji jagung utuh - potong tongkol jagung dengan kedalaman sekitar 2/3 dari biji dan kikis tongkol menggunakan punggung pisau untuk menghilangkan sarinya. Kemas, segel dan dinginkan	4 menit

SAYURAN	PERSIAPAN	WAKTU BLANSIR (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
Biji tongkol	Sortir tongkol berdasarkan ukurannya. Tongkol kecil – berdiameter 1 ¼ inci atau lebih kecil. Tongkol sedang – berdiameter 1 ¼ - 1 ½ inci. Tongkol besar – berdiameter lebih dari 1 ½ inci Blansir, dinginkan, dan tiriskan	Tongkol kecil : 7 menit Tongkol sedang : 9 menit Tongkol besar : 11 menit
SAYURAN HIJAU, sayuran bit, *collard, chard, kale,* sawi hijau, bayam, lobak hijau (daun empuk)	Buang semua daun yang terserang serangga. Cuci dan hilangkan batang yang keras. Blansir, dinginkan, dan tiriskan.	*Collard* : 3 menit Sayuran lain : 2 menit Daun yang sangat empuk : 1 ½ menit

SAYURAN	PERSIAPAN	WAKTU BLANSIR (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
REMPAH, basil, adas sowa, peterseli, dan lainnya	Cuci, tiriskan, pangkas atau potong. Digunakan dalam masakan yang dimasak karena rempah menjadi lembek saat dicairkan. Tambahkan rempah beku secara langsung ke masakan yang sedang dimasak	Tidak diperlukan perlakuan panas
JAMUR (muda, padat, bintik dalam bentuk bebas dan rusak)	Sortir berdasarkan ukuran; cuci dan pangkas bagian bawah. Untuk ukuran yang lebih dari 1 inci harus diiris atau dipotong menjadi 4 bagian. Untuk warna yang lebih baik, rendam selama 5 menit dalam 1 sendok teh jus lemon atau 1 ½ sendok teh asam sitrat dan 1 pint air sebelum diblansir	Dalam uap: utuh – 5 menit Kaning atau seperempat : 3 ½ menit Irisan: 3 menit Atau Tumis dengan mentega atau margarin hingga empuk
BAWANG (bawang matang seutuhnya)	Kupas, cuci, dan potong. Kemas dengan kemasan yang longgar dan bekukan dalam kantung *freezer* yang besar. Keluarkan sesuai kebutuhan. Gunakan dalam waktu 2-3 bulan. Tekstur mungkin terpengaruh	Tidak diperlukan perlakuan panas

SAYURAN	PERSIAPAN	**WAKTU BLANSIR** (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
LOBAK (empuk kecil hingga media)	Hilangkan bagian atas, cuci, kupas, dan potong menjadi dadu berukuran ½ inci atau dalam bentuk irisan. Blansir, dinginkan, dan tiriskan.	2 menit
KACANG POLONG, hijau (manis, *tender Tabel-ready*)	Cuci polong. Kupas kulit suatu waktu. Tunda antara pengupasan dan pembekuan kulit keras. Blansir, dinginkan, dan tiriskan.	1 ½ menit
KACANG POLONG, *snow, sugar,* atau Cina (*Tabel-ready,* polong empuk)	Cuci dan hilangkan ujung bunga dan tali. Daun utuh. Blansir, dinginkan, dan tiriskan.	Polong kecil: 1 ½ - 2 menit Polong media: 2 ½ - 3 menit
LADA, hijau atau pedas (empuk, kering)	Cuci, potong batangnya, hilangkan bijinya. Potong menjadi cincin, dadu, atau irisan sesuai keinginan	Tidak diperlukan perlakuan panas untuk lada yang tidak dipanaskan Setengah : 3 menit *Strip* atau cincin : 2 menit

SAYURAN	PERSIAPAN	WAKTU BLANSIR (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
KENTANG	Cuci, kupas, dan potong dadu menjaadi 1 inci. Blansir dan dinginkan Untuk *hash brown:* masak dalam *jacket* sampai hampir matang. Kupas, parut, dan bentuk sesuai keinginan. Bekukan. Untuk kentang goreng : pilih kentang matang yang telah disimpan selama 30 hari. Kupas dan potong menjadi *strip*. Bilas dalam air dingin. Keringkan seluruhnya. Goreng dengan minyak yang banyak (360°Fahrenheit) hingga berwarna coklat terang keemasan. Keringkan dengan kertas tisu. Dinginkan. Jangan digarami. Kemas dan bekukan. Untuk disajikan, panaskan pada oven dengan panas 450°Fahrenheit hingga berwarna coklat keemasan. Catatan: kentang dapat di*precooked* dengan air atau uap, sebagai ganti minyak.	3-5 menit tergantung ukuran

SAYURAN	PERSIAPAN	**WAKTU BLANSIR** (Dalam air mendidih kecuali dinyatakan lain)
LABU KUNING DAN *WINTER SQUASH* (padat, matang)	Cuci, potong menjadi potongan kecil dan hilangkan biji. Masak hingga lunak dalam air mendidih, dalam uap, dalam panci presto atau dalam oven dengan suhu 350°F. Hilangkan ampas dari kulitnya. Tumbuk, dinginkan, kemas, dan bekukan.	Masak hingga empuk
***SUMMER SQUASH* (ZUCCHINI)** (muda, empuk)	Cuci dan potong menjadi irisan berukuran ½ inci. Blansir, dinginkan dan tiriskan.	3 menit
TOMAT, jus	Cuci, sortir, dan potong tomat. Potong menjadi 4 atau 8 bagian. Didihkan dengan api kecil selama 5 -10 menit. Tekan menggunakan saringan. Dinginkan. Kemas, segel dan bekukan. Cuci, panaskan selama 2 menit untuk melunakkan kulit, kupas, dan buang intinya. Potong menjadi potongan -potongan. Didihkan hingga siap. Dinginkan. Kemas, segel, dan bekukan.	

(Sumber: Garden-Robinson, 2019)

Pengemasan

Baik pangan segar maupun pangan olahan sebaiknya dikemas untuk melindungi pangan. Kemasan sangat berperan dalam menjamin mutu pangan sebelum masa kedaluarsanya. Saat ini telah banyak jenis kemasan pangan, seperti plastik, kertas/ karton, logam, dan lain-lain. Tiap jenis kemasan hanya akan sesuai untuk pangan tertentu, sebagai contoh untuk pangan beku, kemasan yang sesuai adalah plastik. Kemasan yang dipilih harus mampu melindungi pangan dari kehilangan air, masuknya air, mikroba dan kontaminan lain yang dapat mempengaruhi keamanan dan mutu pangan tersebut.

Beberapa kriteria yang ditetapkan dalam pemilihan kemasan pangan beku diantaranya yaitu: memiliki daya tahan terhadap uap air dan embun, memiliki sifat penghalang (*barrier properties*) yang baik terhadap uap air dan udara, terbuat dari bahan-bahan yang tidak berbahaya ketika kontak dengan pangan, bersifat kuat dan tidak mudah bocor, mampu melindungi pangan dari bau atau aroma dari luar kemasan, mudah diisi dan di-*seal*.

Selain itu, terdapat beberapa metode untuk memperpanjang umur simpan pangan olahan beku yang dikemas dengan plastik. Pertama, pangan beku langsung dikemas tanpa vakum. Jenis kemasan plastik bisa berupa PET/adh/LLDPE, PET/PE/LLDPE. Kedua, kemas pangan beku (seperti olahan ikan dan daging) dalam kemasan vakum. Jenis kemasan yang digunakan bisa berupa Ny/adh/LLDPE atau Ny/PE/LLDPE. Ketiga adalah *Boil in bag*. Terdapat beberapa jenis pangan olahan beku yang siap untuk langsung dimakan (*Ready to eat* - RTE). Pangan beku dapat dimasak dalam kemasan primernya. Contoh jenis kemasan yang bisa digunakan adalah Ny/adh/LLDPE atau PET/adh/LLDPE.

Sediakan Ruang Kosong Dalam Wadah Penyimpanan

Untuk bahan pangan yang mengembang saat membeku, maka sediakan sejumlah ruang pada bagian atas kemasan untuk memberikan ruang pada saat terjadi pemuaian bahan akibat pembekuan. Seberapa besar ruang kosong yang perlu disediakan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Ruang Kosong Untuk Wadah Bahan Pangan Yang Dibekukan

Wadah dengan bukaan atas lebar			Wadah dengan bukaan atas kecil	
Jenis kemasan	*Pint*	*Quart*	*Pint*	*Quart*
Kemasan cair*	½ inci	1 inci	¾ inci	1 ½ inci
Kemasan padat**	½ inci	½ inci	½ inci	½ inci

*Buah dikemas dalam jus, gula, sirup atau air, tumbukan atau bubur buah atau jus buah

Sumber: Garden-Robinson, 2019

Thawing

Suatu ketika anda ingin memasak untuk makan malam dengan daging yang telah anda simpan dalam *freezer*, namun anda belum sempat untuk mencairkan (*thawing*) daging tersebut. Kemudian anda langsung masak daging tersebut yang masih dalam keadaan beku. Apakah hal tersebut aman untuk bahan pangan anda?

Meskipun memasak dengan cara ini bisa dilakukan, namun waktu memasak akan membutuhkan waktu 50% lebih lama dibanding bahan pangan yang telah dicairkan (di *thawing*). *Thawing* didefinisikan sebagai proses pencairan produk beku sebelum dimasak atau digunakan dalam proses produksi. Selain itu, memasak pangan beku secara langsung akan membuat makanan terlihat matang diluar namun bisa jadi belum matang dibagian dalam. Jika hal ini terjadi maka bakteri yang berbahaya mungkin saja akan tumbuh dan tertinggal dibagian tengah bahan pangan. Sebaiknya lakukan proses *thawing* sebelum memasak bahan pangan beku. Dan pastikan proses *thawing* telah terjadi sepenuhnya. Lakukan pengecekan apakah bahan pangan telah mencair, baik dari permukaan terluar hingga bagian pusat bahan pangan. Jika proses *thawing* tidak memungkinkan dilakukan dengan cepat, sebaiknya mengganti menu makanan dengan bahan pangan lain yang siap untuk dimasak.

Untuk sayur beku, bisa dimasak tanpa dilakukan proses *thawing*. Jika diperlukan proses *thawing* sayuran sebaiknya dilakukan dengan menggunakan *microwave*. Dan pastikan agar segera memasak sayur tersebut dan hindari memasak sayur hingga *over cook*, cukup sampai lunak. Beberapa pangan beku telah dilengkapi keterangan metode *thawing* yang bisa dilakukan. Secara umum, terdapat tiga metode untuk mencairkan pangan beku:

1. *Thawing* Dalam Refrigerator

Kunci penggunaan thawing dalam refrigerator adalah perencanaan. Hal ini karena *thawing* dalam refrigerator membutuhkan waktu yang cukup lama. Sebagai contoh, untuk satu sekitar dua kg daging sapi atau daging ayam, anda membutuhkan waktu *thawing* setidaknya 24 jam. Setelah proses *thawing*, beberapa produk seperti daging sapi, daging ayam maupun *seafood* seharusnya akan tetap aman dan dalam mutu yang baik setidaknya 1-2 hari sebelum dimasak. Proses *thawing* dengan metode ini dianggap yang paling aman karena bahan pangan tetap berada pada suhu rendah.

2. *Thawing* Dalam Air Dingin

Proses *thawing* dengan air dingin dilakukan dengan merendam pangan beku yang tertutup rapat dalam air dingin. Air harus diganti setiap 30 menit akan proses pencairan terus berlangsung. Selain metode perendaman, metode ini juga bisa dilakukan dengan menggunakan air yang mengalir. Metode *thawing* dalam air dingin lebih cepat dibanding *thawing* dalam refrigerator namun membutuhkan beberapa perlakuan khusus. Untuk *thawing* sekitar 0,5 kg daging ayam atau *seafood* dibutuhkan waktu satu jam atau kurang. Bahan pangan harus berada dalam kemasan yang tertutup rapat dan tidak tembus air. Jika air masuk kedalam kemasan maka akan berpotensi menyebabkan kontaminasi pada bahan pangan baik dari air maupun udara disekitar. Selain itu, daging akan menyerap air dan menyebabkan produk menjadi lebih berair. Segera setelah *thawing* dengan metode ini, bahan pangan harus segera dimasak sebelum kembali membeku.

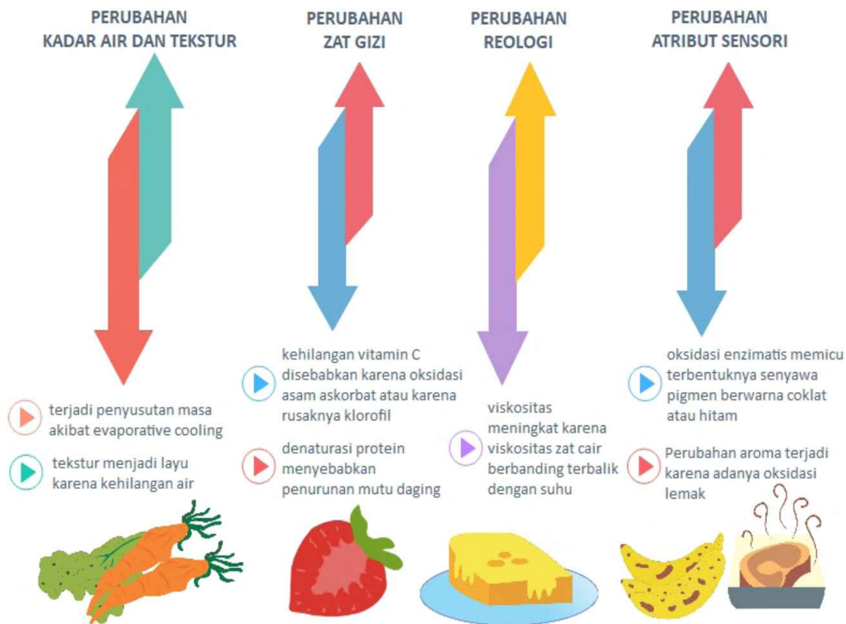
3. *Thawing* Dalam *Microwave*

Metode thawing dalam *microwave* adalah metode yang paling cepat dan sangat tepat dilakukan untuk bahan pangan beku yang ingin segera dimasak. Hal ini karena *thawing* dalam *microwave* menyebabkan bahan pangan akan menjadi lebih hangat. Jika tidak segera dimasak maka akan menyebabkan bahan pangan berada pada suhu "*danger zone*" (4.4 ^{o}C – 60 ^{o}C) dimana mikroorganisme bisa tumbuh dengan cepat pada suhu tersebut. Hal tersebut juga menjadi dasar mengapa sebaiknya kita tidak melakukan proses *thawing* pada suhu ruang. Bahan pangan yang telah di *thawing* dalam *microwave* harus segera dimasak seluruhnya, sebaikanya tidak disisakan untuk kemudian dibekukan lagi.

Apakah Makanan Beku Yang Telah Di Thawing Bisa Dibekukan Lagi?

Bahan pangan yang telah di *thawing* bisa dibekukan lagi selama bahan pangan tersebut belum di masak. Dengan catatan proses *thawing* dilakukan didalam refrigerator. Hanya saja bahan pangan pasti akan mengalami penurunan kualitas. Jangan pernah membekukan kembali bahan pangan yang telah di*thawing* dengan air dingin atau *microwave*. Meskipun bahan pangan yang telah di*thawing* dengan air dingin atau *microwave* masih nampak memiliki mutu yang baik untuk bisa dibekukan lagi, namun potensi tumbuhnya mikroorganisme pada saat proses *thawing* bisa menyebabkan bahan pangan menjadi tidak aman untuk dikonsumsi. Selain itu, jangan pernah membekukan kembali es krim yang telah mencair.

PERUBAHAN SELAMA PENYIMPANAN SUHU RENDAH



Sebagaimana telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, penyimpanan suhu rendah secara umum bertujuan untuk memperpanjang umur simpan pangan dengan cara memperlambat aktivitas enzimatis dan/ atau mikroba. Mutu pangan tidak hanya dilihat dari aspek bebas mikroba namun juga dilihat dari kualitas zat gizi dan atribut sensori yang menyertainya. Memperpanjang umur simpan bukan berarti meniadakan

perubahan pada sifat fisik dan kimia pangan. Penyimpanan pada suhu rendah, baik kondisi dingin (*chilled*) atau pun beku (*frozen*), justru dapat menimbulkan beberapa dampak perubahan pada pangan yang perlu diantisipasi dan dikendalikan untuk menghindari kondisi yang tidak diinginkan.

Perubahan Kadar Air dan Tekstur

Penyimpanan pangan pada suhu beku umumnya berada di bawah suhu -20°C. Berbeda dengan penyimpanan pangan pada suhu dingin, penyimpanan beku dapat memperpanjang umur simpan pangan hingga beberapa bulan. Hal ini cukup menguntungkan dan memudahkan bagi penjual pangan dan konsumen. Namun, penyimpanan beku juga memiliki konsekuensi penurunan mutu pangan yang perlu diantisipasi dan dikendalikan, khususnya pada bahan pangan segar.

Mutu bahan pangan segar yang dibekukan sangat dipengaruhi oleh kristal es yang terbentuk pada proses pembekuan. Pembekuan yang berlangsung lambat akan membentuk kristal es berukuran besar di ruang ekstraseluler. Ukuran kristal es yang besar akan merusak struktur mikro bahan pangan sehingga dapat berdampak kepada perubahan sifat fisik dan kimia bahan pangan, seperti perubahan warna menjadi lebih gelap, pelunakan jaringan pada sayuran dan buah, penurunan daya ikat air dan mengerasnya tekstur pada daging, dan bahkan penyimpangan flavor. Kerusakan struktur sel akibat pembekuan adalah hal yang kompleks karena melibatkan beberapa hal sekaligus, di antaranya adalah depolimerisasi dinding sel, pecahnya membran sel, serta perubahan tekanan osmosis. Selain itu, pembekuan juga dapat menyebabkan kerusakan struktural akibat pembentukan kristal es, terutama kristal es intraseluler kecil yang dibentuk oleh laju pembekuan yang sangat cepat.

Masalah yang sering dihadapi dalam penyimpanan suhu rendah adalah kehilangan berat dan perubahan penampilan bahan pangan. Pangan dalam bentuk padat dan semi - padat dengan kadar air tinggi yang disimpan dalam ruang pendingin sangat rentan terhadap perubahan tekstur. Perubahan ini akan lebih cepat terjadi jika pangan tidak dilapisi oleh kemasan pelindung. Bahan pangan segar dari golongan tanaman, seperti sayuran dan buah memiliki tekstur renyah yang khas. Tekstur renyah tersebut merupakan kontribusi dari adanya tekanan turgor pada dinding sel tanaman yang mengandung air. Kadar air pada sayuran dan buah segar umumnya berkisar antara 70 hingga 90%. Perubahan tekstur yang dimaksud adalah penurunan mutu sebagai akibat dari kehilangan air di bagian permukaan bahan pangan.

Pada penyimpanan dalam ruang pendingin, bahan pangan segar terpapar oleh pergerakan udara dingin dengan kelembapan yang relatif rendah. Hal ini mengakibatkan adanya selisih tekanan uap air pada bahan pangan dengan udara di sekitar pangan. Dengan demikian, transfer massa air dari permukaan bahan pangan ke udara terjadi dan mengakibatkan kehilangan air (*moisture loss*) di bagian permukaan bahan pangan. Sayuran dan buah yang kehilangan air juga akan mengalami penurunan tekanan turgor di tingkat sel serta menyebabkan penurunan mutu sayuran dan buah sehingga terlihat layu, tekstur melunak, dan kehilangan bobot.

Selain sayuran dan buah, bahan pangan segar hewani seperti daging dan ikan segar yang disimpan dalam suhu dingin juga memiliki resiko perubahan tekstur karena memiliki kadar air yang juga tinggi, di kisaran 65 - 80%. Kehilangan air di bagian permukaan juga terjadi pada bahan dan produk pangan dalam bentuk padat dan semi - padat lainnya yang memiliki kadar air relatif tinggi. Hal ini menyebabkan pengeringan sebagian dan memperkeras tekstur bahan dan produk pangan di bagian permukaan.

Selain pada pangan nabati, proses pendinginan dan pembekuan dapat mempengaruhi tingkat keempukan (*tenderness*) daging. Pendinginan berfungsi untuk mencegah pemendekan otot segera setelah penyembelihan. Dengan penanganan yang tepat, keempukan daging dapat dipertahankan dengan baik selama masa penyimpanan dingin/ beku. Sebaliknya penanganan yang tidak tepat dapat menyebabkan penurunan kualitas daging, contohnya pemotongan daging sebelum *tenderization* yang cukup dapat menyebabkan daging menjadi keras/ alot. Faktor yang mempengaruhi kualitas hasil pendinginan dan pembekuan daging diantaranya adalah lama penyimpanan dingin (*aging*) sebelum pembekuan dan kemasan daging.

Daging yang tidak dikemas atau dikemas dengan buruk saat pembekuan dapat menyebabkan *'freezer-burn'* yaitu pengeringan pada jaringan permukaan yang menghasilkan lapisan spons kering yang tidak menarik dan tidak dapat pulih setelah proses pencairan (*thawing*). Selain itu pengemas yang baik juga dapat mengurangi terjadinya desikasi,

dehidrasi dan oksidasi lemak. Dengan demikian mutu daging beku dapat dipertahankan.

Perubahan Zat Gizi

Laju kehilangan vitamin pada buah dan sayur bergantung pada suhu penyimpanan dingin. Kehilangan vitamin C (*ascorbic acid*) terjadi selama *freezing* dan *frozen storage*. Beberapa hal yang berpengaruh terhadap hilangnya vitamin C adalah kondisi blansing, metode pembekuan, tipe/ jenis kemasan, dan kondisi waktu maupun suhu penyimpanan. Kehilangan vitamin C disebabkan oleh oksidasi *ascorbic acid.* Untuk buah dan sayur yang mengandung pigmen *chlorophylls,* kehilangan vitamin C terjadi seiring terjadinya kerusakan pigmen tersebut. Sedangkan kehilang vitamin B umumnya terjadi pada produk unggas.

Secara umum penyimpanan tepat diatas titik beku untuk buah atau sayuran dapat menghambat respirasi dan transpirasi, serta dapat mempertahankan kandungan vitamin. Selain itu pengendalian kelembaban ruang penyimpanan juga mampu mencegah terjadinya pelayuan dan mempertahankan kerenyahan bahan pangan. Beberapa bahan pangan dapat mengalami penurunan zat gizi yang drastis selama penyimpanan dingin, untuk meminimalisir penurunan zat gizi selama penyimpanan dingin dapat ditambahkan proses blansing sebelum penyimpanan dingin.

Pada produk pangan hewani, perubahan zat gizi umumnya terjadi pada kandungan proteinnya. Untuk daging, lama pelayuan menjadi faktor yang berpengaruh terhadap penurunan kandungan protein daging sapi. Karena denaturasi protein merupakan perubahan intramuskular yang disebabkan hidrolisis rantai peptida maka tidak akan mempengaruhi jumlah protein daging. Namun demikan denaturasi protein ini tidak berdampak pada perubahan jumlah protein, namun memberi pengaruh terhadap penampakan dan kualitas daging.

Perubahan Sifat Reologi

Perubahan selama penyimpanan dingin juga dapat terjadi pada pangan yang memiliki sifat reologi tertentu baik dalam bentuk semi - padat atau pun cair. Berdasarkan permodelan yang dikembangkan oleh

Arrhenius, diketahui bahwa viskositas (kekentalan) zat cair berbanding terbalik dengan suhu, maka penyimpanan suhu dingin berdampak kepada meningkatnya viskositas zat cair. Di samping itu, viskositas pangan semi - padat dan cair juga semakin meningkat karena terjadinya kehilangan air pada pangan cair yang terpapar dengan udara selama penyimpanan dingin. Migrasi air dari dalam matriks pangan ke udara akan meningkatkan konsentrasi total padatan dalam pangan sehingga viskositas pangan akan semakin meningkat. Contoh lain mengenai pengaruh suhu rendah terhadap sifat reologi pangan adalah pada mentega dan margarin yang merupakan pangan semi - padat dengan kadar lemak jenuh yang tinggi. Mentega dan margarin umumnya dapat dioleskan dengan mudah pada suhu ruang. Penyimpanan pada suhu dingin menyebabkan perubahan sifat reologi mentega dan margarin sehingga sulit untuk dioleskan sebagaimana mestinya. Oleh karena itu, mentega dan margarin yang baru dikeluarkan dari penyimpanan dingin memerlukan waktu untuk mencapai suhu yang lebih tinggi sehingga dapat digunakan dengan mudah.

Perubahan Warna, Rasa, Aroma dan Flavor

Penyimpanan dingin tidak selalu dapat memperpanjang umur simpan bahan pangan. Beberapa jenis sayuran dan buah segar tropis mengalami perubahan fisik yang tidak diinginkan jika disimpan pada suhu dingin di atas suhu beku dan di bawah suhu di mana terjadinya kerusakan fisiologis. Kerusakan ini dikenal sebagai *chilling injury* dan dapat terlihat dari perubahan terhadap warna, tekstur, dan aroma buah. Jaringan tanaman menjadi lebih peka pada suhu di bawah 15 °C. Gejala yang timbul akibat *chilling injury* bisa bervariasi tergantung pada komoditasnya dan suhu ruang penyimpanannya. Jika bahan pangan disimpan dibawah suhu kritis penyimpanan maka akan mengalami beberapa gejala *chilling injury.* Gejala akan lebih cepat dan banyak terjadi ketika pangan disimpan jauh dibawah suhu kritisnya. Gejala yang paling umum sebagai akibat *chilling injury* adalah terbentuknya bintik - bintik pada kulit. Bintik tersebut muncul sebagai akibat rusaknya sel - sel di bawah permukaannya.

Salah satu contoh gejala *chilling injury* yang paling sering ditemukan adalah pada buah pisang yang disimpan pada suhu dingin.

Pisang adalah buah klimakterik dengan aktivitas respirasi yang terus berlangsung setelah dipanen. Respirasi pisang berperan dalam proses pematangan buah. Mekanisme terjadinya *chilling injury* terjadi melalui beberapa kemungkinan yang sangat terkait dengan aktivitas respirasi pada penyimpanan dingin, yaitu kelebihan jumlah spesies oksigen radikal yang diproduksi oleh pisang, dan oksidasi enzimatis senyawa fenolik oleh enzim *polyphenoloxidase*. Spesies oksigen radikal yang terakumulasi berdampak kepada perubahan struktur membran sel dan meningkatnya oksidasi lemak pada membran. Sedangkan oksidasi enzimatis memicu terbentuknya senyawa pigmen berwarna coklat atau hitam. Kehilangan air akibat *evaporative cooling* juga menyebabkan terjadinya perluasan bintik-bintik tersebut.

Secara umum, perubahan warna pada buah dan sayuran dipengaruhi oleh tiga hal, diantaranya: perubahan pigmen (*chlorophylls, anthocyanins, carotenoids*), terjadinya *enzymatic browning*, atau kerusakan sel *chloroplasts* dan *chromoplasts.* Proses pemanasan, pembekuan dan *thawing* bisa menyebabkan *cell disintegration, pigment degradation,* dan isomerisasi *carotenoids*. Selain itu proses pembekuan juga menyebabkan perubahan *chlorophylls* menjadi *pheophytins* yang menyebabkan pudarnya warna hijau dan turunnya kandungan vitamin.

Pendinginan dan pembekuan bisa menyebabkan perubahan warna dan tampilan daging, warna daging beku dapat bervariasi sesuai dengan kecepatan pembekuan. Warna daging akan memudar atau berwarna cokelat gelap setelah proses pencairan (*thawing*) hal ini disebabkan karena oksidasi oksimoglobin pada permukaan daging.

Aroma dan rasa pada buah dan sayur dapat terpengaruh secara signifikan ketika pendinginan awal maupun penyimpanan dingin. Sebagai contoh, jagung manis yang disimpan pada suhu 10°C mengalami penurunan rasa manis (*sweetness*) sebanyak 16%, sementara ketika disimpan pada suhu 0°C kehilangan *sweetness* kurang dari 4%. Meskipun pembekuan dapat mencegah dari reaksi kimia namun tidak dapat mencegah oksidasi lipid dan denaturasi protein. Pembekuan juga menyebabkan terjadinya perubahan aroma dan terbentuknya *off flavor* pada strawberi. Penurunan

aroma disebabkan karena dekomposisi dan difusi senyawa esters sedangkan *off flavor* terjadi karena terbentuknya senyawa H_2S selama pembekuan.

Penyimpanan beku dapat menyebabkan perubahan rasa dan bau pada daging dan ikan, hal ini disebabkan oleh adanya oksidasi lipid (lemak), atau disebut ketengikan oksidatif, yang menghasilkan rasa "tengik" yang tidak dapat diterima. Reaksi ini terjadi akibat adanya reaksi oksigen dengan lemak yang merupakan proses autokatalitik. Pembekuan menyebabkan konsentrasi zat terlarut meningkat, hal ini akan menyebabkan konsentrasi zat terlarut meningkat dan akan mempercepat terjadinya reaksi oksidasi. Degradasi lemak akan menyebabkan timbulnya flavor yang tidak diinginkan akibat terbentuknya senyawa *hydroperoxides, thiobarbituric acid,* dan *fatty acids.* Proses ini dapat diperlambat pada daging beku jika oksigen benar-benar dihilangkan, dengan suhu penyimpanan sangat rendah yaitu di bawah - 60°C. Penyimpanan suhu rendah yang tidak tepat juga bisa menyebabkan terbebasnya metabolit seperti berbagai asam amino dan garam mineral dari sel dan bersama-sama dengan degradasi strukutur sel akan menyebabkan terbentuknya substrat yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme patogen terutama jamur. Sebagai akibatnya akan terjadi penyimpangan cita rasa atau bau yang tidak diinginkan. Jamur tersebut dapat timbul selama masa pemanenan, transportasi, dan pada waktu pemasaran.

DAFTAR PUSTAKA

Aidani, E., Aghamohammadi, B., Akbarian, M., Morshedi, A., Hadidi, M., Ghasemkhani, N., & Akbarian, A. (2014). Effect of chilling, freezing and thawing on meat quality: a review. *International Journal of Biosciences,* 5 (4).

Alehosseini, E. a. (2019). Micro/Nano Encapsulated Phase Change Materials (PCMs) as Emerging Materials For The Food Industri. *Trend in Food Science and Technology*, 116 - 128.

Amrullah., Djafar, Z., & Piarah, W. H. (2017). Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran. *Jurnal Teknologi Terapan*, 3(2).

Asiah, N., Cempaka, L., & David, W. (2018). P*anduan Praktis Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan.* Jakarta: UB Press.

Asiah, N., Nurenik., David, W., & Djaeni, M. (2020). *Teknologi Pascapanen Bahan Pangan.* Yogyakarta: Deepublish.

Beales, N. (2004). Adaptation of Microorganisms to Cold Suhues, Weak Acid Preservatives, Low pH, and Osmotic Stress: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3(1), 1–20.

Belitz, HD., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Berlin: Springer.

Bhatia, M.S. (2009). *Principles of Microbiology.* Delhi: Indramani Pandey for Swastik Publisher & Distributors.

Bhunia, A.K., & Ray, B. (2014). *Fundamental Food Microbiology, Fifth Edition*. *Boca Raton: CRC Press.*

Boyer, R., & McKinney, J. (2013). *Food Storage Guidelines for Consumers.* Virginia Polytechnic Institute and State University.

Burney, J. *Freezing Foods*. The University of Tennessee. Institute of Agriculture.

Campañone, L.A., Roche, L.A., Salvadori, V.O., & Mascheroni, R.H. (2002). Monitoring of weight losses in meat products during freezing and frozen storage. *Food Science and Technology International,* 8(4): 229-238.

Cheng, W. -L., Mei, B. -J., Liu, Y. N., Huang, Y. -H., & Yuan, a. X.-D. (2011). A Novel Household Refrigerator With Shape- Stabilized PCM (Phase Change Material) Heat Storage Condesers : An Experinteal Investigation. *Energy 36*, 5797 - 5804.

Departemen Kesehatan. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: *Departemen Kesehatan.*

Direktorat Standardisasi Produk Pangan Deputi Bidang Pengawasan Keamanan Pangan dan Bahan Berbahaya Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2016. *Pedoman Cara Pengolahan dan Penanganan Pangan Olahan Beku yang Baik.*

Dunshee, W. (1984). United State Patent. *Instant Hot or Cold, Reusable Cold Pack*, United States Patent (US) 4,462,224.

Fatima, G. A. (2013). Kajian Penggunaan Ice Gel Sebagai Media Pendingin Pada Kemasan Untuk Distribusi Sawi Hijau (Brasicca juncea L.). *Skripsi*, Teknologi Pertanian, Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Garden-Robinson, J. (2019). *Food Freezing Guide.* North Dakota State University, Fargo.

James, S. J., & James, C. (2014). *Chilling and Freezing of Foods dalam Buku Food Processing: Principles and Applications, Second Edition*. John Wiley & Sons, Ltd.

Jay, J.M., Loessner, M.J., & Golden, D.A. (2005). *Modern Food Microbiology, Seventh Edition*. United States of America: Springer.

Kim, B.H., & Gadd, G.M. (2012). *Bacterial Physiology and Metabolism*. New York: Cambridge University Press.

Li, D., Zhu, Z. & Sun, D.W. (2018). *Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review.* Trends in Food Science & Technology, 75: 46-55.

Liu, M., Saman, W., & Bruno, a. F. (2012). Development of A Refrigeration System For Refrigerated Trucks Incorporating Phase Change Material. *Applied Energy*, 336 - 342.

Lopez-Alt, J. K. (2017). *The Food Lab: How to Organize Your Refrigerator for Better Food Storage. Diambil dari Buku The Food Lab: Better Home Cookingn Throughh Science.*

McGarry, J. (2015). *Thawing Foods Safely.* Michigan Food Safety. Michigan State University.

Messaâdi, A., Dhouibi, N., Hamda, H., Belgacem, F.B.M., Adbelkader, Y.H., Ouerfelli, N. & Hamzaoui, A.H. (2015). A new equation relating the viscosity Arrhenius suhue and the activation energy for some Newtonian classical solvents. *Journal of Chemistry*.

Miwada, I. N. S. (2015). *Teknologi Pembekuan Daging: Bentuk Selamat dari Pembusukan.* Denpasar: Universitas Udayana

Moat, A.G., Foster, J.W., & Spector, M.P. (2002). *Microbial Physiology, fourth edition.* New York: Wiley-Liss..

Mould, S. (2018). *The Bacteria Book: The big world or really tiny microbes*. New York: DK Publishing.

Murmu, S.B. & Mishra, H.N. (2018). Post-harvest shelf-life of banana and guava: Mechanisms of common degradation problems and emerging counteracting strategies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49: 20-30.

Oro, E., & Camilia Barrenche, M. M. (2013). Experimental Study On The Selection of Phase Change Materials For Low Suhue Application. *Renewable Energy 57*, 130 - 136.

Peraturan Menteri Kesehatan No. 416 Tahun 1990 Tentang: Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air.

Prescott, L.M., Harley, J.P., & Klein, D.A. (2005). *Microbiology, 6th edition*. New York: McGraw Higher Education.

Purwiyatno, H. (2007). Teknologi Pembekuan Pangan. *FOODREVIEW INDONESIA,* 4(7).

Rahman, M. S., & Velez-Ruiz, J. F. (2007). *Handbook of Food Preservation, Second Edition.* CRC Press

Reece, J.B., Urry, L. A., Gain, M.L., Wasserman, S. A., Minorsky, P.V., & Jackson, R.B. (2014). *Campbell Biology, 9th edition*. Boston: Benjamin Cummings.

Safety in Domestic Refrigerators - A Mixed Methods Study to Identify Key Messages for Promoting Safe Storage Practices among Households. *The Indian Journal of Nutrition and Dietetics, 53*(1).

Singh, S., Galkwad, K. K., & Suklee, a. Y. (2018). Phase Change Materials For Advanced Cooling Packaging. *Environmental Chemistry Letters*.

Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 01 - 3839 – 1995. Es Batu.

Suamir, I. N., Rasta, I. M., Sudirman, & Tsamos, a. K. (2019). Development of Corn - Oil Ester And Water Mixture Phase Change Materials For Food Refrigeration Application. *Energy Procedia* 161: 198 - 206.

Sudjatha, W., & Wisaniyasa, N. W. (2017). *Fisiologi dan Teknologi Pascapanen (Buah dan Sayuran).* Bali: UDAYANA University Press.

Sutrisno. (2009). *Pengolahan Pangan Dengan Suhu Rendah.* EBookPangan. com

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012. Tentang Pangan.

United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. (2010). Food Safety Information *"Freezing and Food Safety".*

United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. (2010). Food Safety Information *"Refrigeration and Food Safety".*

United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. (2010). Food Safety Information *"The Big Thaw-Safe Defrosting Methods-for Consumers".*

Veerakumar, C., & Sreekumar, a. A. (2016). Phase Change Material Based Cold Thermal Energy Storage : Materials, Techniques, and Application. *Journal Of Refrigeration*, 1 - 30.

Vithanage, C.R., Grimson, M.J. & Smith, B.G. (2009). The effect of suhu on the rheology of butter, a spreadable blend and spreads. *Journal of texture studies*, 40(3): 346-369.

Wieke van der Vossen., & Corne van Dooren. (2016). *Storage of Food: Fact sheet.* Netherland Nutrition Centre.

Xie, M., Li, Z., Gao, X., Fang, Y., & Zhang, a. Z. (2019). Preparation and Performance of Modified Expanded Graphite / Eutectic Salt Composite Phase Change Cold Storage Material. *International Journal of Refrigeration*.

Yella, R., Naveen Kumar, R., Vemula, S. R., Nagalla, B., & Gavaravarapu, S. M. (2016). *Food*

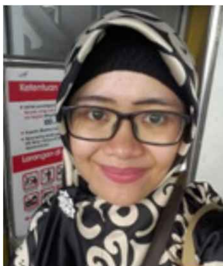
Zhao, Y., Zhang, X., & Xu, a. X. (2019). Application and Research Progress of Cold Storage Technology in Cold Chain Transportation and Distribution. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*.

BIODATA PENULIS



Nurul Asiah, ST, MT adalah dosen tetap dan peneliti di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Bakrie sejak 2016. Menyelesaikan pendidikan Strata 1 dan Magister Teknik Kimia di Universitas Diponegoro dengan topik penelitian di bidang Teknologi Proses Pengolahan Pangan. Fokus bidang ajar dan penelitiannya meliputi Rekayasa Proses dan Teknologi Pengolahan Pangan. Hasil penelitiannya telah banyak dipublikasikan pada seminar akademik dan diterbitkan oleh berbagai Jurnal nasional maupun Internasional dalam bentuk artikel ilmiah maupun buku ajar. Teknik Pendinginan Bahan Pangan adalah salah satu bidang ilmu yang dipelajari, diteliti dan diajarkannya.

Webpage : https://www.bakrie.ac.id/en/nurul-asiah-s-t-m-t
E-mail : nurul.asiah@bakrie.ac.id



Laras Cempaka, S.Si, MT adalah dosen tetap dan peneliti di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Bakrie sejak 2013. Menyelesaikan pendidikan Strata 1 di Program Studi Mikrobiologi dan Magister Teknik Kimia di Institut Teknologi Bandung. Fokus bidang ajar dan penelitiannya meliputi Fermentasi dan Pengembangan Produk Pangan. Laras saat ini tercatat sebagai pengurus dari asosiasi ilmiah di bidang ilmu dan teknologi pangan, yaitu Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI). Kontribusi pada penulisan buku diantaranya dengan judul: Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan, Ensiklopedia Produk Pangan Indonesia Jilid 2 (PATPI), Pangan Indonesia Berkualitas (PATPI).

Webpage : https://bakrie.ac.id/laras-cempaka-m-t
E-mail : laras.cempaka@bakrie.ac.id



Dr. Kurnia Ramadhan menempuh studi di bidang teknologi pangan dan mendapatkan gelar sarjana dari Institut Pertanian Bogor di tahun 2009. Gelar Master of Science di bidang teknologi pangan juga diperolehnya dari Universiti Sains Malaysia pada tahun 2012. Kurnia memulai karir sebagai akademisi di Universitas Bakrie sejak akhir tahun 2012. Gelar akademik Doktor berhasil didapatkan dari University of Nottingham pada awal tahun 2020.

Bidang minat penelitian Kurnia seputar karakterisasi dan modifikasi sifat fisiko-kimia bahan pangan, untuk memperbaiki sifat fungsional teknis dan sifat sensori produk pangan. Kurnia saat ini tercatat sebagai anggota dari beberapa asosiasi ilmiah di bidang ilmu dan teknologi pangan, termasuk Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) dan Institute of Food Science and Technology (IFST) United Kingdom.

Webpage : https://bakrie.ac.id/kurnia-ramadhan-m-sc
E-mail : kurnia.ramadhan@bakrie.ac.id



Stephanie Hoseva Matatula, S.TP adalah alumni Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Bakrie. Menyelesaikan pendidikan Strata 1 pada tahun 2020 dengan topik penelitian tentang media pendingin alternatif PCM.

Email : stephaniehoseva@gmail.com

6 Alasan Memilih Nasmedia



Garansi 100%

Tidak puas dengan kualitas cetak Nasmedia? Kami menyediakan garansi 100% buku baru. Gratis!



Harga Termurah

Nggak percaya layanan Nasmedia termurah di Timur Indonesia? Banding aja dengan penerbit sebelah



Pelayanan Terbaik

Lebih dari 1300+ penulis dan 30+ mitra cetak Nasmedia adalah bukti dari pelayanan terbaik kami



Anggota IKAPI

Tidak mudah menjadi anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI). Nasmedia telah tergabung sejak 2018



Perpusnas RI

Lebih dari 3 tahun Nasmedia telah terverifikasi dengan terbitan lebih dari 350 Judul buku ber-ISBN



Support 24/7

Admin Nasmedia Support 24 jam. So, konsultasi orderan anda diterima kapan saja. kami selalu untuk anda



Garansi 30 Hari Uang Kembali

Tidak puas dengan layanan Nasmedia? Kami menyediakan garansi uang kembali yang berlaku 30 hari sejak tanggal buku di terima

BOOK'S PUBLISHED

3 TAHUN NASMEDIA TELAH BERHASIL
MENERBITKAN BUKU
LEBIH DARI
1300+ PENULIS
DENGAN TOTAL PRODUKSI LEBIH DARI
93.000 EKSEMPLAR BUKU



